
Elementos para un modelo de cambio estructural basado en agentes en una economía abierta

Octavio Lerena

Gabriel Yoguel

Documento de trabajo

DT IDEI 14-2016

UNGS - IDEI

Publicaciones
IDEI

Documentos
de trabajo

IDEI
Instituto de Industria

Universidad Nacional
de General Sarmiento



Publicaciones IDEI

Elementos para un modelo de cambio estructural basado en agentes en una economía abierta

05/10/2016

Octavio Lerena

Gabriel Yoguel

IDEI

Economía del Conocimiento

Abstract

Este artículo tiene tres objetivos secuenciales. El primero es identificar un conjunto de atributos que permita explicar en qué consisten, genéricamente, los modelos evolucionistas basados en agentes (en adelante, MEBA). El segundo es describir el sendero evolutivo de cuatro tradiciones prominentes de estos modelos. Por último, el tercer objetivo es comparar dichas tradiciones a partir de la importancia relativa de los atributos identificados. Desde esa perspectiva, presentamos un conjunto de atributos que reúnen los MEBA, y que están presentes en grados variables en los diferentes modelos. Agrupamos estos atributos considerando las dinámicas de generación y circulación del conocimiento, las precondiciones de los procesos de búsqueda, las dinámicas de sistemas complejos, las interfaces entre dinámicas schumpeterianas y keynesianas, y la existencia de bloqueos. A su vez, estilizamos el sendero evolutivo de la literatura. Para ello, presentamos cuatro grupos de modelos -NeIWin, SKIN, S+K y LSD de cambio estructural-, que abordan el problema del desenvolvimiento económico a diferentes niveles, considerando distintos motores. En ese marco, comparamos dichas tradiciones en términos de los atributos que enfatizan, lo que nos permitió establecer el posicionamiento distintivo de cada una de ellas. El artículo plantea que los MEBA representan una iniciativa destacable de modelización en el campo del evolucionismo neoschumpeteriano. En ese sentido, pueden ser útiles para la simulación de políticas de innovación alternativas. Sin embargo, como hemos planteado, la mayoría de los modelos comporta en la actualidad la limitación de no contemplar un esquema de economías abiertas.

Introducción

La larga tradición de modelos evolucionistas inaugurada por Nelson y Winter (1982) ha procurado dar cuenta de cómo emerge la innovación en el proceso de competencia siguiendo un marco teórico schumpeteriano. Sin embargo, las contribuciones pioneras privilegiaron la esfera micro-meso y solo abordaron tangencialmente las relaciones entre la innovación y las variables agregadas a nivel macro. A su vez, las extensiones de dichos modelos al plano del desenvolvimiento económico y del cambio estructural fueron escasas. En parte, esto se explica porque las limitaciones computacionales impedían dar cuenta de la complejidad intrínseca de las dinámicas de interacción planteadas por la literatura y, por tanto, existían dificultades para explicar la coevolución entre los distintos motores del crecimiento económico.

Los modelos basados en agentes abrieron el camino a una nueva y fecunda línea de investigación, al permitir explicar el comportamiento colectivo que emerge en presencia de agentes heterogéneos que siguen reglas simples. Estos modelos simulan las interacciones simultáneas de múltiples agentes, en un intento por recrear la aparición de fenómenos complejos. Los agentes se consideran dotados de racionalidad limitada, recurren a heurísticas o reglas simples de toma de decisiones y pueden experimentar procesos de “aprendizaje”, adaptación y reproducción.

En los últimos años, los enfoques evolucionistas basados en agentes han permitido avanzar hacia el desarrollo de nuevos modelos que articulan las dimensiones micro, meso y macro, contribuyendo a generar sucesivas extensiones de los modelos neoschumpeterianos. A modo de bisagra entre los distintos niveles de análisis, esta estrategia de modelización ha abierto horizontes promisorios para la investigación en áreas como el cambio estructural y el desarrollo económico desde una perspectiva evolucionista.

En ese marco, este paper tiene tres objetivos secuenciales. El primero es identificar un conjunto de atributos que permita explicar en qué consisten, genéricamente, los modelos evolucionistas basados en agentes (en adelante, MEBA). El segundo es describir el sendero evolutivo de cuatro tradiciones prominentes de estos modelos. Por último, el tercer objetivo es comparar dichas tradiciones a partir de la importancia relativa de los atributos identificados.

En la primera sección presentamos las bases ontológicas de estos ejercicios de modelización que reflejan, desde una perspectiva amplia, una cosmovisión acorde al pensamiento evolucionista. En esa dirección, representamos en forma estilizada los “elementos” ontológicos constitutivos de un MEBA, entendidos como atributos presentes en grados variables en los diferentes trabajos. Agrupamos estos atributos en función de las siguientes dimensiones: dinámicas de generación y circulación del conocimiento, precondiciones de los procesos de búsqueda, dinámicas de sistemas complejos, interfaces entre dinámicas schumpeterianas y keynesianas, y bloqueos. De este modo, mostramos cómo las preocupaciones y énfasis particulares de los MEBA se alinean con los problemas que han interesado al evolucionismo como corriente teórica. Estas bases ontológicas tienen como correlato epistemológico la necesidad de que la investigación parta de tres grandes premisas: realismo, dinámica y no-reduccionismo.

En la segunda sección se estiliza el sendero evolutivo de la literatura sobre MEBA. Para ello, presentamos cuatro grandes grupos de modelos que han dado lugar a proyectos de largo plazo y que constituyen tradiciones ya consolidadas en el campo. Seleccionamos grupos que abordan el problema del desenvolvimiento económico a diferentes niveles y que, considerando diferentes motores, representan procesos de “dinámica industrial”, “crecimiento económico” o “cambio estructural”. En particular, nos concentramos en los modelos NelWin, los modelos SKIN (*Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks*), los modelos S+K (Schumpeter *cum* Keynes), y los modelos LSD (*Laboratory for Simulation Development*) de cambio estructural.

En la tercera sección comparamos las cuatro tradiciones de MEBA en términos de los elementos ontológicos que enfatizan. Estos atributos permiten establecer el posicionamiento distintivo de dichas tradiciones en el marco de los MEBA y dar cuenta de sus preocupaciones específicas. Finalmente, en las conclusiones, realizamos algunas consideraciones sobre la extensión futura de esos modelos para tratar tanto las cuestiones de cambio estructural como el diseño y evaluación de políticas en países en desarrollo.

1. El carácter evolucionista de los MEBA

1.1 Las bases ontológicas: Categorías analíticas del evolucionismo neoschumpeteriano

Los MEBA se inscriben en una perspectiva evolucionista-neoschumpeteriana amplia, la cual supone que la generación, selección, y difusión de innovaciones dependen de tres factores: i) de las características microeconómicas de las organizaciones –sintetizadas en las capacidades y vinculaciones que alcanzan–; ii) del proceso de competencia; y iii) del entorno institucional en el que el nuevo conocimiento generado es validado (Metcalf, Foster y Ramlogan, 2006; Metcalf, 1995; Antonelli, 2014; Dosi, 2014; Pyka, 2002). En este marco, los procesos de innovación, competencia y cambio institucional tienen lugar a partir de interacciones sistémicas en desequilibrio entre firmas e instituciones que provocan la coevolución de las dimensiones micro, meso y macro (Dopfer, 2011; Dopfer, Foster y Potts, 2004; entre otros). En esa dirección, identificaremos algunas categorías analíticas centrales que permiten dar cuenta de una ontología evolucionista. Estas aluden a la microheterogeneidad en términos de competencias y rutinas, a las dinámicas meso implicadas en la formación de redes productivas, y a la conexión entre los niveles meso y macro que se manifiesta en el patrón de especialización dominante y en los procesos de crecimiento y cambio estructural.

En términos de microheterogeneidad, las empresas acumulan capacidades tecnológicas, productivas, organizacionales y comerciales diferenciales, y generan conexiones con otras firmas y con instituciones públicas y privadas para mejorar sus capacidades en el marco del proceso de competencia (Metcalf y Ramlogan, 2008; Metcalf, Ramlogan y Uyarra, 2003). El análisis de estas cuestiones requiere colocar el foco en los conceptos de rutinas, capacidades organizacionales e innovación, y en las relaciones entre ellos.

En particular, las teorías de la firma basadas en las competencias tienen como pilares el reconocimiento de cuestiones tales como el fenómeno del *learning by doing* como una fuente de desarrollo endógeno, el papel de la incertidumbre radical y la racionalidad limitada, el conocimiento tácito, incrustado en todos los niveles de la

estructura organizacional, y el énfasis en el aprendizaje y en la naturaleza idiosincrática y contextual del conocimiento (Hodgson, 1998a).

En esa tradición se inscriben los aportes de Nelson y Winter (1982), que introducen la noción de la innovación como un cambio en las rutinas de la firma y plantean que modelizar la firma –y su búsqueda de diferenciación para obtener cuasirrentas– es modelizar sus rutinas. En este marco, identifican tres grandes problemas a los que el evolucionismo busca dar respuesta.

Una primera cuestión es la *localización del conocimiento*, considerado como una combinación de saberes codificados y tácitos que no están incorporados plenamente ni en *blueprints* ni en individuos concretos, sino que reside en la memoria organizacional y se corporiza en rutinas. En este marco, la rutina organizacional se define como “programa” o patrón de actividad de la organización en su conjunto.

Un segundo problema conexo es el de la *frontera del conocimiento*, es decir, la demarcación de la frontera entre las actividades técnicamente posibles e imposibles. En ese sentido, el evolucionismo considera el “saber hacer” y el “saber elegir” como fenómenos interdependientes. Por lo tanto, rechaza la idea de que el “saber hacer” se traduce en la función de producción y el “saber elegir”, en una regla de decisión optimizadora (Nelson y Winter, 1982). En particular, plantea que el conjunto de oportunidades de una firma es siempre incierto, y que la capacidad de elegir “bien” en una situación particular no es reductible a una regla de decisión invariante.

El tercer problema fundamental es la *relación del conocimiento de una firma con el que se genera en otras firmas y el disponible en el entorno*. La información sobre las actividades y los métodos de otras firmas puede obtenerse por diversos medios, pero el esfuerzo de imitación puede ser demasiado costoso o incluso inefectivo. Los agentes, dotados de racionalidad limitada, son capaces de aprender, adaptarse e innovar, a partir de la comprensión (imperfecta) del mundo en el que operan, las tecnologías que dominan, sus formas organizacionales y sus repertorios conductuales. Como corolario de la naturaleza imperfecta del conocimiento y del aprendizaje de que son capaces los agentes, se plantea la existencia de una heterogeneidad persistente en las preferencias y las dotaciones de los agentes, los modelos del mundo que sostienen, sus repertorios tecnológicos, y sus procesos de aprendizaje. Como señala Dosi (2014), es esencial dar cuenta de la heterogeneidad para que la frontera del conocimiento pueda desplazarse y habilitar, de ese modo, la posibilidad inmanente de la novedad.

En términos de dinámicas meso, más allá de considerar en los modelos que las firmas difieren en la intensidad de sus esfuerzos de innovación e imitación, el evolucionismo considera que las firmas están dotadas de patrones de búsqueda distintivos en función del tipo de actividad productiva involucrada. Al estudio de las *especificidades sectoriales* (p.ej., Pavitt, 1984; Breschi, Malerba, y Orsenigo, 2000), se sumó en los últimos años el interés en las dinámicas diferenciales de las *redes o tramas productivas*. En un contexto en que las actividades intensivas en conocimiento ostentan una importancia creciente (Antonelli, 1999), las capacidades externas son un aspecto crítico de la “extensión de los mercados” y de la división del trabajo cognitivo, e incluyen no solo la disponibilidad de proveedores potenciales sino también la disponibilidad de capacidades, habilidades y experiencias acumuladas.

En ese sentido, el concepto de *trama productiva* pone el énfasis en los procesos de generación, circulación y apropiación de conocimiento y en la forma como se obtienen cuasirrentas (Yoguel, 2007). Una trama productiva constituye una forma particular de articulación de firmas conformada por una o varias firmas organizadoras (núcleos) y el conjunto de relaciones estables y de largo plazo que se establecen con las empresas proveedoras y clientes, con otras empresas y con el sistema institucional.

En términos de la conexión meso-macro, se entiende el desarrollo económico como un proceso de transformación que incluye un cambio tanto cuantitativo como cualitativo y se refleja en una eficiencia y variedad crecientes. La eficiencia y la creatividad conducen a dos formas diferentes de competencia (Saviotti y Pyka, 2009): en la primera –la competencia “clásica”–, las empresas compiten en la producción de un mismo bien y tratan de hacerlo más eficientemente que sus competidoras; en la última – la competencia “schumpeteriana” –, las empresas compiten mediante la creación de un producto o servicio enteramente nuevo.

Para Saviotti y Pyka (2009), el principal resorte del desarrollo económico proviene de la *creación de nuevos sectores*, y la expansión del ingreso disponible es condición necesaria para la *generación de variedad*. Esta variedad puede ser tanto *relacionada* con los sectores preponderantes de la estructura productiva como *no relacionada* con los mismos.

En forma complementaria con esta literatura, Dosi (1988) introduce la discusión sobre el cambio estructural considerando dos tipos de eficiencias dinámicas, que conjugan trayectorias de más rápido crecimiento de la productividad, la producción y el empleo en el tiempo (Dosi, 1988): la eficiencia schumpeteriana y la eficiencia keynesiana. Mientras la primera destaca la presencia de sectores con altas tasas de crecimiento de la productividad y con mayor generación y difusión de conocimientos y capacidades hacia el conjunto de la economía, la segunda se refiere a un patrón de especialización en sectores beneficiados por elevadas elasticidades ingreso de la demanda externa. Los dos tipos de eficiencia se dan en general simultáneamente, ya que los sectores más intensivos en conocimiento tienden a mostrar también, en el largo plazo, un mayor dinamismo de la demanda. La forma e intensidad que adoptan estas eficiencias modelan el patrón de especialización productiva predominante.

1.2 Epistemología evolucionista y atributos de un MEBA

Las preocupaciones que hemos descripto han sido abordadas por la perspectiva neoschumpeteriana a partir de un *framework* epistemológico centrado en tres premisas: la concepción de la teoría como abstracción realista; la necesidad de que las explicaciones se centren en la dinámica y se apoyen, por tanto, en una descripción de procesos de final abierto; y el reconocimiento de la complejidad implicada en las relaciones micro-meso-macro (Dosi, 2013; Dosi y Winter, 2002). El énfasis en estos tres elementos –*realismo, dinámica de final abierto y no-reduccionismo*– tiene, además, la ventaja de poner en diálogo al actual programa evolucionista con otras perspectivas heterodoxas (Chick, 1995 y 2004; Dow, 1997; Hodgson, 1998b; Robert y Yoguel, 2013; Castellacci, 2006).

En términos de realismo, el evolucionismo plantea que el proceso de construcción de la teoría debe comenzar con una “visión apreciativa” (Nelson, 1991), la cual requiere rechazar el abordaje axiomático de los supuestos. Por su parte, la premisa de dinámica de final abierto supone que el sistema económico está imbuido en un proceso que ocurre en el tiempo real e histórico, caracterizado por incertidumbre radical, *path dependence* e irreversibilidad y que, por tanto, la explicación de por qué algo existe o por qué una variable adquiere el valor que posee debe apoyarse en una descripción de proceso. En consecuencia, *la explicación prevalece sobre la predicción*. Por último, el no-reduccionismo alude a que el agregado no se deduce linealmente de la observación de las partes en forma aislada y a que las acciones individuales tienen efectos macroeconómicos difíciles de prever. Debido a esa no linealidad, las regularidades agregadas deben entenderse como “el resultado colectivo y en gran medida no intencional de las micro-interacciones alejadas del equilibrio y de los aprendizajes

heterogéneos” (Dosi, 2014:82). En ese sentido, es crucial dar cuenta de la *coevolución* en la dinámica, esto es, de una relación compleja de evolución en todos los niveles de análisis y escalas de tiempo, que debe ser comprendida íntegramente y, en lo posible, modelizada como tal. Es a partir de la consideración de esos procesos de retroalimentación –en el sentido de si existen y si son positivos o negativos– que pueden identificarse los bloqueos a las dinámicas evolutivas.

Los elementos de orden ontológico y epistemológico que hemos descripto, y que ilustran las bases meta-teóricas de la tradición evolucionista, tienen como correlato en el nivel metodológico un conjunto de dimensiones y atributos que definiremos a continuación y que los modelos incorporan en grados variables (ver tabla 1). De hecho, los MEBA se configuran a partir de la distinta importancia que les atribuyen a estos elementos, la cual permite poner de relieve las preocupaciones específicas de las distintas contribuciones.

La enumeración no pretende ser ni exhaustiva ni prescriptiva. Por una parte, puede haber elementos no incluidos porque el alcance de la teoría en sí misma es siempre provisorio. Por otra, se parte de la idea de que no es necesario que todos los elementos se consideren simultáneamente para caracterizar un modelo basado en agentes como evolucionista. Sin embargo, los atributos tienen la ventaja de operar como criterio de comparación entre distintos desarrollos al interior de esta tradición (ver tabla 1).

En primer lugar, los MEBA pueden colocar el énfasis en las capacidades y aptitudes ocultas de los agentes, en concepciones no positivistas del aprendizaje, en la generación de conocimiento, y en el rechazo de explicaciones últimas en términos de las conductas individuales, que no tengan en cuenta la naturaleza idiosincrática y contextual del conocimiento. En ese sentido, pueden partir de la idea de que el conocimiento, lejos de ser un bien público, es difícil de imitar y constituye una combinación de saberes codificados y tácitos que no están incorporados plenamente ni en los *blueprints* ni en los individuos. Asimismo, pueden considerar la coevolución del desarrollo del conocimiento tácito –incrustado en todos los niveles de la estructura organizacional– y el conocimiento codificado (Hodgson, 1998a), así como los *spillovers*, entendidos como externalidades endógenas. Algunos modelos pueden identificar la memoria organizacional de las firmas, en la que reside el conocimiento y que se corporiza en la red de rutinas y subrutinas que van construyendo en su sendero evolutivo (Nelson y Winter, 1982) y, sobre esa base, representar la innovación como un cambio en las rutinas. Incluso pueden dar cuenta del papel que desempeñan en este proceso las interacciones intrafirma entre los diferentes miembros de la organización. Asimismo, los MEBA pueden reflejar de distinta forma las especificidades sectoriales que condicionan procesos de aprendizaje y desarrollos tecnológicos con muy desigual grado de oportunidad, acumulatividad, apropiabilidad y conocimiento de base. En otras palabras, es a partir de distintas combinaciones de todos estos elementos (innovación como cambio en las rutinas, coevolución conocimiento codificado y tácito, interacciones intrafirma, *spillovers* como externalidades endógenas, y especificidades sectoriales) que los MEBA son capaces de explicar las principales dinámicas de generación y circulación del conocimiento.

En segundo lugar, los MEBA se distinguen entre sí por el modo en que abordan las precondiciones de los procesos de búsqueda de los agentes. Desde una perspectiva evolucionista, estas abarcan, ante todo, la existencia y persistencia de la heterogeneidad a múltiples niveles, la incertidumbre radical y la racionalidad limitada. En ese marco, los MEBA pueden concentrarse en dar cuenta de la presencia de oportunidades captadas

de distintas formas por las firmas, en un contexto de sistemas abiertos, caracterizados por la posibilidad inmanente de novedad (Dosi, 2014).

En tercer lugar, los modelos incorporan de desigual forma diversas nociones compatibles con la teoría de sistemas complejos como *path-dependence* e irreversibilidad, la no linealidad y la existencia de *feedbacks* positivos que puedan dar lugar a rendimientos crecientes, a propiedades emergentes y a divergencia entre sistemas. Por otro lado, en muchos casos estos modelos dan cuenta de la arquitectura de redes formales e informales en las que participan las empresas, más allá de las relaciones de compra venta (Antonelli, 1999). Estas redes pueden mejorar sus capacidades iniciales y contribuir a identificar problemas y cambiar rutinas y, por tanto, a innovar.

En cuarto lugar, algunos MEBA pueden representar las interfaces entre dinámicas schumpeterianas y keynesianas, centrando el interés en fenómenos como la coevolución de oferta y demanda, la interacción entre variables reales y financieras (incluyendo las dinámicas minskianas), y la desigual presencia de eficiencias dinámicas schumpeteriana y keynesiana en los diversos sectores (Dosi, 1988). En esta dimensión se ponen de manifiesto los fenómenos de causación acumulativa y la endogeneidad de la distribución del ingreso.

Por último, sobre este conjunto de dimensiones y atributos que las constituyen opera una dimensión vertical que especifica los diferentes bloqueos a nivel micro, meso y macro, que limitan las dinámicas de generación y circulación del conocimiento, los procesos de búsqueda, las dinámicas de sistemas complejos y la coevolución de dinámicas schumpeterianas y keynesianas.

2. Sendero evolutivo de los MEBA

En esta sección identificaremos y caracterizaremos algunos de los aportes más prominentes en la literatura de MEBA. En particular, seleccionamos aquellos que más repercusión tuvieron en términos de citas, los que formaban parte de un proyecto de largo plazo, los que generaron *software* y plataformas y los que –como el caso de los modelos SKIN– generaron un espacio de código compartido. En esa dirección, todos los modelos que se presentan en esta sección no constituyen trabajos aislados, sino que forman parte de líneas de investigación consolidadas que presentan *path dependence*.

Más allá de compartir atributos comunes, los MEBA se diferencian por su pertenencia a distintos grupos o "familias" de modelos. Una primera generación de modelos evolucionistas de crecimiento –bautizados como NelWin por Valente y Andersen (2002)– se inspiró en Nelson y Winter (1982, capítulo 9). Con posterioridad, y en esa dirección, se construyeron múltiples MEBA (Silverberg y Verspagen, 1994, 1995 y 1996; Chiaromonte y Dosi, 1993; Chiaromonte *et al.*, 1993; Dosi *et al.*, 1994; Fagiolo y Dosi, 2003).

Si bien los modelos NelWin consideran centralmente la dinámica de los procesos económicos, no se interesan específicamente por proporcionar una abstracción realista ni por desarrollar un análisis micro-meso-macro. En particular, reflejan en forma plausible la idea de que el conocimiento no es un bien público, y suponen agentes que se enfrentan a fenómenos de incertidumbre radical e irreversibilidad. Sin embargo, no representan los flujos de conocimiento entre los agentes, la coevolución del conocimiento tácito y codificado, las redes de rutinas y subrutinas dentro de las organizaciones, ni las redes formales e informales que contribuyen a un aumento de las capacidades. Por otra parte, estos modelos pioneros no incursionan tampoco en el análisis de las interfaces entre dinámicas schumpeterianas y keynesianas. De hecho, al

no considerar la existencia de *feedbacks* entre diversas dimensiones y planos, no resultan apropiados para dar cuenta de cuestiones tales como los bloqueos a distintos niveles y la divergencia entre sistemas. Sin embargo, estos modelos tienen el mérito de haber introducido, al menos parcialmente, dinámicas *path dependent*, la racionalidad limitada de los agentes, la heterogeneidad multidimensional y la posibilidad inmanente de novedad (ver cuadro 1).

Gran parte de los MEBA más prominentes que se desarrollaron a partir de los años noventa integran alguna de las siguientes tres familias de modelos: los modelos SKIN (*Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks*), los modelos S+K (Schumpeter *cum* Keynes), y los modelos LSD (*Laboratory for Simulation Development*) de cambio estructural. Dichos grupos se diferencian, sobre todo, por sus preocupaciones y énfasis particulares.

Los MEBA más representativos de estas familias pueden clasificarse en función de la naturaleza de los “motores” del desenvolvimiento económico que suponen: i) la innovación y el cambio tecnológico (motor “schumpeteriano”); ii) la demanda efectiva (motor “keynesiano”), en adición al motor schumpeteriano; y iii) las interfaces entre ambos motores. Cada uno de estos mecanismos se ha utilizado, respectivamente, para representar modelos evolucionistas relacionados ya sea con la “dinámica industrial”, el “crecimiento económico” o el “cambio estructural”.

2.1 El motor schumpeteriano en los modelos evolucionistas de dinámica industrial

La mayoría de los modelos que usan el marco teórico de Nelson y Winter omite en la práctica considerar la dinámica de acumulación de una base de conocimiento estructurado de las firmas que compiten en un mercado (Dawid, 2006). De hecho, solo se suele tratar la acumulación de conocimiento ya sea implícitamente –postulando que todo el conocimiento actual está incorporado en la tecnología en uso–, o bien mediante una simple variable de *stock* de I+D que se incrementa mediante inversiones a lo largo del tiempo. Sin embargo, existe una importante tradición de modelos basados en agentes que se ha ocupado específicamente de fenómenos como la acumulación, la estructura y los *spillovers* del conocimiento (Cantner y Pyka, 1998; Gilbert y Ahrweiler, 2009; Gilbert *et al.*, 2001, 2007 y 2014; Antonelli y Ferraris, 2011; Pyka *et al.*, 2011, entre otros).¹

En sus trabajos sobre las redes de innovación, Gilbert, Pyka y Ahrweiler (Gilbert *et al.*, 2001, 2007 y 2014; Ahrweiler *et al.*, 2004, 2011 y 2014; Pyka *et al.*, 2007) han desarrollado una estrategia metodológica ambiciosa orientada a modelizar el conocimiento, las capacidades y las conexiones de una firma con un gran nivel de detalle. Los modelos SKIN (acrónimo de *Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks*) son parte de un método general de simulación que apunta a reproducir la evolución de las redes de innovación en diversas industrias del mundo real.

¹ Estos modelos utilizan el concepto de *spillover* en un sentido muy diferente al propuesto por los autores neoclásicos. Rechazan la idea del conocimiento como bien público, subrayan la diferencia entre conocimiento e información, y consideran que las externalidades del conocimiento son endógenas al sistema (Antonelli y Ferraris, 2011; y Pyka, Gilbert y Ahrweiler, 2009). Ballot y Taymaz (1997 y 1999) también han contribuido a esta literatura. Watts y Gilbert (2014), por su parte, realizan una comparación exhaustiva entre distintas estrategias de modelización del conocimiento colectivo y las redes de innovación, donde incluyen algunas contribuciones provenientes del *management*.

De acuerdo con sus creadores, los modelos desarrollados en la plataforma SKIN siguen la estrategia de modelización *history-friendly* (HF), respaldada empíricamente (Pyka, Gilbert y Ahrweiler, 2009). La estructura de los modelos HF (Malerba *et al.*, 2001) representa las rutinas, las relaciones y el comportamiento de los agentes económicos partiendo de teorías apreciativas que permiten entender los mecanismos evolutivos de una industria (Garavaglia, 2010).² En particular, los modelos SKIN consideran que el *stock* de conocimiento de una firma no es uniforme y está semi-estructurado. Esto permite distinguir entre conocimiento explícito y tácito, y entre conocimiento genérico y destrezas específicas.

El modelo SKIN básico (Ahrweiler, Pyka y Gilbert, 2004) busca representar los procesos dinámicos implicados en la innovación y se concentra en el estudio de las industrias modernas intensivas en conocimiento. El abordaje permite representar organizaciones heterogéneas dotadas de *stocks* individuales de conocimiento, cuya magnitud y composición varían en el tiempo, no solo en función de la experiencia de la firma sino también a partir del aprendizaje interactivo con socios y colaboradores, que tiene lugar en el marco de consorcios y redes.

El modelo indaga las dinámicas mediante las cuales el conocimiento se genera, se comunica, se recombina y se intercambia (Ahrweiler, Pyka, Gilbert, 2004). Las interacciones entre los agentes ocurren en dos niveles: mediante un mercado donde las firmas ofrecen y demandan bienes y servicios, y mediante los flujos de conocimientos.

Los agentes son firmas con distinta intensidad innovadora que intentan vender sus productos a otras firmas y a usuarios finales y que, para ello, tienen que adquirir insumos, bienes de capital y partes y componentes complejos de otros agentes (proveedores). En este esquema, cada firma puede intentar mejorar sus ventas y su desempeño innovativo ampliando su base de conocimientos mediante la adaptación a las necesidades de los usuarios, el aprendizaje incremental o radical, y la cooperación y el trabajo en red con otros agentes.

El modelo SKIN permite la investigación de diferentes industrias en las que existen estrategias divergentes mediante la alteración de los parámetros del modelo. En algunos casos, los parámetros pueden estimarse econométricamente a partir de los conjuntos de datos que describen el patrón de conducta cooperativa de las firmas en una industria.

Alternativamente, el desarrollo histórico de una industria particular puede reproducirse encontrando un conjunto de parámetros que devuelva una trayectoria temporal que refleje el desarrollo de la industria. Habiendo reproducido la secuencia histórica en una industria, se puede tratar de encontrar los parámetros críticos que cambian los resultados del modelo, de modo que sigan la secuencia histórica de otra industria. De acuerdo con Ahrweiler, Pyka y Gilbert (2004), con estos ejercicios puede desarrollarse un entendimiento más profundo de las industrias bajo consideración y evaluar el impacto de medidas de política alternativas. En otros términos, se trata de una estrategia basada en un “análisis contrafáctico” (Garavaglia, 2010).

En el marco de la metodología SKIN, Ahrweiler, Pyka y Gilbert (2014) entienden la innovación como la creación de nuevos productos, procesos y estructuras

² Una vía alternativa a los modelos HF es la sugerida por Windrum *et al.* (2007) y consiste en desarrollar modelos más generales, con mayor alcance explicativo, que parten de los patrones de comportamiento de diferentes industrias. Garavaglia sugiere que las simulaciones HF deberían avanzar desde los “modelos basados en casos” a “tipificaciones” más genéricas. Propone investigar algunas propiedades que aplican a un amplio rango de fenómenos empíricos. Es decir, promueve la adopción de un protocolo común para el desarrollo de estos modelos.

organizacionales, que sean tecnológicamente factibles y comercialmente realizables (Schumpeter, 1911). Plantean que la innovación resulta de las continuas interacciones de organizaciones (universidades, institutos de investigación, firmas, agencias del gobierno, y capitales de riesgo, entre otros actores) que pueden involucrarse en redes y consorcios para absorber y explotar fuentes de conocimiento externas, imitar y emular, y beneficiarse de las sinergias generadas en el sistema. Las organizaciones intercambian y generan conocimiento aprovechando las redes de relaciones (redes de innovación) que están incorporadas en los marcos institucionales a los niveles local, regional, nacional e internacional (Pyka, 2002; Pyka y Kueppers, 2003).

El primer atributo que los agentes necesitan en estos modelos es una base de conocimiento individual. Esta propiedad requiere un espacio de conocimiento de tipo semi—estructurado (Ahrweiler, Pyka y Gilbert, 2014): un sistema que estructure la cartera de conocimiento codificado y explícito. Adicionalmente, se requiere una representación del conocimiento que pueda incluir el *know-how* y el *expertise*, esto es, las propiedades tácitas o implícitas del conocimiento. En este marco, los agentes deben poder explorar su espacio de conocimiento, conectarse con los espacios de conocimiento de otros agentes, y construir nuevo conocimiento.

En la literatura SKIN se usa el concepto de “kene” para representar el conocimiento agregado de una organización. Este concepto fue introducido por Gilbert (1997) para modelizar la estructura dinámica de la ciencia académica y se adaptó para reflejar el conocimiento de las firmas.

La base de conocimiento individual de un agente SKIN, su kene, contiene una serie de “unidades de conocimiento”, que quedan definidas por tres elementos diferentes: las capacidades de la firma, C, en un dominio científico, tecnológico o de negocios, su habilidad, A, de desempeñar cierta aplicación en ese campo, y el nivel de *expertise*, E, que la firma ha conseguido con respecto a esta habilidad. En todos los procesos tecnológicos es necesario aplicar varias capacidades, y diferentes habilidades dentro del dominio de una capacidad. Los kenes pueden interpretarse como los elementos de conocimiento científico, habilidades, y *expertise* necesarios para operar ciertas rutinas. En ese sentido, el concepto de recombinación de kenes es, en principio, asimilable al cambio en las rutinas que representa la innovación.

De este modo, el kene de una firma consiste en un conjunto de unidades C/A/E que representan su espacio de conocimiento artificial. En estos modelos, las firmas utilizan dichas unidades de conocimiento en forma combinatoria para generar innovaciones. El procedimiento se basa en el planteo de “hipótesis de innovación” (HI). Estas se derivan de un subconjunto de la base de conocimientos de la firma. En otras palabras, la idea subyacente en una innovación, modelizada por la HI, es la fuente que un agente usa en sus intentos de obtener cuasirrentas.

La interpretación concreta de las capacidades tecnológicas, las habilidades específicas y el modo en que se determinan las recompensas financieras de las innovaciones dependen de las propiedades de la industria que se está examinando. Este modo de representar la base de conocimiento permite estudiar la acumulación de conocimiento en la industria en un modo muy estructurado (Dawid, 2006). Dado que en este abordaje el intercambio de conocimiento se modela explícitamente, los *spillovers* solo ocurren si los *partners* con habilidades y *expertise* complementarios intercambian conocimiento. Adicionalmente, algunas variantes recientes de estos modelos han añadido a las dinámicas que ocurren al nivel de la firma otras que se producen al nivel de los individuos que la integran, dando cuenta de fenómenos tales como la rotación de trabajadores especializados o la emergencia de emprendedores (Dilaver, Bleda y Uyarra, 2014; Dilaver, Uyarra, y Bleda, 2014).

El marco teórico que subyace a los modelos SKIN remite a la contribución de Nelson y Winter (1982), y a diversos elementos de las corrientes organizacionales y conductistas (Cyert y March, 1963; Simon, 1955). Sin embargo, estos modelos se nutren, además, de elementos conceptuales adicionales provenientes, sobre todo, de la literatura sobre aprendizaje organizacional (Argyris y Schön, 1978).

En suma, los modelos SKIN permiten hacer simulaciones con agentes heterogéneos que actúan en un medio complejo y cambiante. El modelo básico incluye un mercado y una representación de la dinámica de generación del conocimiento intra e interfirma (Ahrweiler, Pyka y Gilbert, 2004). A diferencia de los NelWin, esta familia de modelos ha logrado incluir, unos veinte años más tarde, gran parte de las categorías analíticas planteadas en la primera sección. Entre las dimensiones incluidas solo en forma parcial destacan la presencia de un análisis micro-meso-macro y, por tanto, la existencia de bloqueos a distintos niveles. Por último, entre las dimensiones no incluidas, se destacan las distintas interfaces entre dinámicas schumpeterianas y keynesianas, y la divergencia entre sistemas.

2.2 Los motores schumpeteriano y keynesiano en los modelos evolucionistas de crecimiento

Las contribuciones que añaden al motor schumpeteriano de la innovación y el progreso tecnológico un motor keynesiano, permiten dar cuenta del papel que desempeña la generación de la demanda en el desenvolvimiento económico.

La aparición de la plataforma *Laboratory for Simulation Development* (LSD) contribuyó a la difusión de una nueva generación de modelos evolucionistas de crecimiento, en los que la demanda desempeña un papel relevante. Una nueva versión del modelo “NelWin” desarrollada por Valente y Andersen (2002) utiliza por primera vez el sistema LSD para representar el modelo evolucionista básico. Este trabajo sirvió de vehículo para dar a conocer la nueva herramienta y, de ese modo, estimuló el desarrollo posterior de sucesivas expansiones del modelo básico –entre ellas, la incorporación de nuevos motores para explicar el crecimiento. En ese sentido, la implementación de modelos evolucionistas en el marco del proyecto LSD ha constituido un avance importante en relación con una primera generación de modelos evolucionistas iniciados por Nelson y Winter, que contienen demasiado de Schumpeter y muy poco de Keynes (Dosi, 2014).³

El proyecto LSD, desarrollado por Valente (1997 y 1999) y diversas contribuciones posteriores, procura proveer una perspectiva evolucionista de la modelización de las dinámicas tecnológica y económica.

Una de las contribuciones más influyentes en la tradición schumpeteriana-keynesiana basada en agentes (Dosi, Fagiolo y Roventini, 2006) conecta la teoría keynesiana de la demanda efectiva y la teoría schumpeteriana del crecimiento económico impulsado por la tecnología. En ese modelo, los agentes heterogéneos, con racionalidad limitada y diversos senderos evolutivos, pueden enfrentar oportunidades de innovación e imitación, e intentar aprovecharlas con costosos esfuerzos de búsqueda, bajo condiciones de incertidumbre genuina. Sin embargo, una limitación de ese trabajo es que aún no introducía experimentos de política explícitos.

³ Un antecedente notable es el trabajo de Verspagen (2002), que intenta integrar las herramientas evolucionistas y keynesianas, y presenta un modelo de simulación de la economía holandesa, planteado en términos de dinámicas poblacionales, donde la demanda es endógena. Si bien se trata de un modelo insumo-producto, y no de un abordaje basado en agentes, se destaca por haber estimulado esta línea de investigación.

Más recientemente, Dosi, Fagiolo y Roventini (2010) profundizan el modelo e intentan explorar la retroalimentación entre los factores que influyen en la demanda agregada y los que impulsan el cambio tecnológico bajo distintos regímenes de crecimiento, aunque sin considerar los procesos de cambio estructural. Al igual que en el modelo previo, el motor schumpeteriano abarca aquí solo la generación de innovaciones por parte de los productores de bienes de capital, quienes, en el proceso de búsqueda, incurren en costos y se diferencian endógenamente en la tecnología que dominan. En otras palabras, existe un único sector productor de bienes de consumo, la innovación está incorporada en los bienes de capital, y las firmas "aguas abajo" se limitan a producir un bien final homogéneo.

En este trabajo, el motor keynesiano tiene dos partes: una directa –mediada por políticas fiscales a través de impuestos y subsidios de desempleo– y una indirecta, mediada por las decisiones de inversión de las firmas y de consumo de los trabajadores. Sin embargo, el modelo no considera la demanda de exportaciones ni trata específicamente el impacto de la inversión pública.

Una cuestión central que abordan Dosi, Fagiolo y Roventini (2010) es si el motor schumpeteriano es capaz, por sí solo, de mantener la economía en un sendero de alto crecimiento y bajo desempleo. A grandes rasgos, la respuesta es negativa. Se plantea, en cambio, que un motor de innovación endógena de ese tipo es capaz de lograr tales resultados solo en presencia de un núcleo keynesiano de generación de demanda, que en ese modelo toma la forma de políticas fiscales. De este modo, se concluye que ambos motores resultan necesarios para colocar a la economía en una trayectoria de crecimiento sostenido a largo plazo. Si bien las políticas schumpeterianas fomentan los procesos de destrucción creativa, no parecen ser capaces por sí mismas de producir un crecimiento sostenido, ya que es esencial que los cambios endógenos en los *fundamentals* de la tecnología se propaguen en términos de generación de demanda y, finalmente, de crecimiento de la producción.

Más recientemente, Dosi *et al.* (2013) recuperan el legado schumpeteriano que plantea la vinculación entre financiamiento e innovación. En ese sentido, añaden al modelo un sector bancario, y una autoridad monetaria que fija tasas de interés y condiciones para el otorgamiento de créditos. El modelo combina los mecanismos keynesianos de la demanda efectiva, un proceso de crecimiento schumpeteriano impulsado por la innovación y una dinámica crediticia minskiana.

En síntesis, desde la perspectiva epistemológica, encontramos que la familia de modelos S+K toma en cuenta la dinámica y el análisis micro-meso-macro, pero solo en forma parcial busca dar cuenta del requisito de abstracción realista. Como en las familias previas, en este tipo de modelos se considera que el conocimiento no es un bien público. A su vez, se supone que los agentes enfrentan un contexto de incertidumbre radical, irreversibilidad y no linealidad. Asimismo, cabe destacar la inclusión de dinámicas minskianas en los trabajos más recientes. En contraste, no se aborda un conjunto importante de cuestiones, tales como los flujos de conocimiento, la coevolución del conocimiento codificado y tácito, las redes de rutinas y subrutinas, los *feedbacks* a nivel micro, la divergencia entre sistemas, las eficiencias schumpeterianas y keynesianas, y las redes formales e informales. En un nivel intermedio se consideran, en forma parcial, la idea de racionalidad limitada, la heterogeneidad multidimensional, la posibilidad inmanente de novedad, el *path dependence* y la posibilidad de bloqueos.

2.3 La interfaz keynesiana-schumpeteriana en los modelos evolucionistas de cambio estructural

Los procesos de retroalimentación entre los motores schumpeteriano y keynesiano permiten dar cuenta de las dinámicas de cambio estructural en una economía cerrada. En esa dirección, Ciarli, Lorentz, Savona y Valente (2010) modelizan el crecimiento económico de largo plazo considerando tres aspectos particulares del cambio estructural: la tecnología, la organización de la producción y la composición del producto. Presentan un modelo estrechamente relacionado con los intentos recientes de estudiar las políticas macroeconómicas en un marco basado en agentes, combinando ideas provenientes de las tradiciones schumpeteriana y keynesiana.

La contribución de Ciarli *et al.* (2010) se vincula directamente con otros trabajos previos como los de Saviotti y Pyka (2004 y 2008), donde se concibe el desarrollo como resultado de la emergencia de nuevos sectores y se plantea que una mayor variedad de bienes conduce a un mayor crecimiento económico. En ese esquema, la creación de nuevos sectores está liderada endógenamente por la dinámica de los sectores preexistentes, cuya saturación induce a los emprendedores a crear nuevos nichos mediante el desarrollo de innovaciones generalizadas. Sin embargo, a diferencia de estos aportes previos, en que no se exploran aún los vínculos entre la creación de variedad y el “pull” de la demanda,⁴ Ciarli desarrolla un modelo macroeconómico basado en agentes e implementa un programa de simulación utilizando el *software* LSD donde se articulan los vínculos entre las estructuras productiva y organizacional, del lado de la oferta, y la evolución endógena de la distribución del ingreso, del lado de la demanda.

Más precisamente, la hipótesis de Ciarli *et al.* (2010) es que los cambios en la estructura económica y en la especialización coevolucionan con los cambios en la estructura organizacional de las firmas y, de ese modo, inciden en las estructuras salariales y de ingresos. En consecuencia, tanto los mecanismos que operan a nivel micro como los de nivel meso suponen alteraciones en los patrones de consumo, los que a su vez retroalimentan los cambios en la estructura productiva tanto al nivel de la firma como a nivel sectorial. Así, el trabajo de Ciarli tiene dos ejes. Primero, se endogeneiza el papel de la distribución del ingreso, al formalizar una relación entre cambios en la distribución y cambios en el consumo. Segundo, se provee un conjunto de fundamentos microeconómicos, basado en agentes, para mostrar el efecto de los cambios en los patrones de consumo y en la estructura productiva sobre el crecimiento y la distribución.⁵

En un trabajo aún más reciente, Ciarli, Savona y Valente (2013) proponen un abordaje micro-macro, vinculado a la tradición de los modelos basados en agentes, que extiende el planteo presentado en Ciarli *et al.* (2010) y apunta a explicar las divergencias entre países, a lo largo del tiempo. Si bien se simulan las trayectorias de múltiples países, se trata de un análisis comparado entre países que no interactúan entre sí, esto es, no se levanta el supuesto de economías cerradas.

⁴ Ciarli *et al.* (2010:3) argumentan que, en los trabajos de Saviotti y Pyka (2004 y 2008), la creación de variedad es exógena y los enlaces con el lado de la demanda permanecen inexplorados. Cabe añadir a esta limitación la observada por Caiani, Godin y Lucarelli (2014) respecto de que estos modelos “liderados por la oferta” de Saviotti y Pyka suponen que el ingreso es siempre igual al producto y, en consecuencia, dejan de lado el aspecto financiero de la economía. Este modelo fue extendido recientemente (Saviotti y Pyka, 2013).

⁵ Ciarli incluye en el modelo restricciones a nivel meso y macro que retroalimentan el nivel micro, de forma tal que cambios del lado de la oferta en el nivel micro afectan la composición de las clases de trabajadores y la conducta de consumo. La demanda afecta el tamaño de la firma y se retroalimenta con la estructura del mercado.

El argumento clave de ese artículo es que la estructura productiva y el modo en que se organizan las firmas, junto con la estructura de la demanda, son los principales candidatos para explicar las posibilidades y restricciones para la generación de procesos de cambio estructural y, de ese modo, poder explicar las diferencias en el crecimiento que se observan entre países a lo largo del tiempo. En tal sentido, su modelo da cuenta de tres dimensiones del cambio estructural –tecnología, organización de la producción y composición del producto–, generando diferentes patrones de crecimiento y de distribución del ingreso. En particular, el modelo ilustra algunos mecanismos mediante los cuales la variedad de productos, las diferencias en las preferencias de consumo, la complejidad organizacional y la tecnología productiva determinan si la economía experimenta o no un despegue.

Desde la perspectiva epistemológica, estos modelos enfatizan la importancia de la dinámica y del análisis micro-meso-macro, pero solo se interesan parcialmente por reflejar el principio de abstracción realista. Desde la perspectiva del conocimiento, consideran, como el resto de los modelos, que este no es un bien público; sin embargo, no incluyen los flujos de conocimiento ni tampoco consideran la coevolución de los saberes tácitos y codificados que se van generando en las organizaciones o las redes de rutinas y subrutinas y sus cambios. En contrapartida, la incertidumbre radical, la racionalidad limitada, la multidimensionalidad de la heterogeneidad y la posibilidad inmanente de novedad constituyen puntos de partida clave en la modelización. En relación con su filiación a la teoría de la complejidad, estos trabajos consideran la no linealidad de las relaciones entre dimensiones, la irreversibilidad y la presencia de *path dependence*, aunque no introducen una estructura de redes formales e informales a nivel meso. Debido a la importancia asignada al estudio del cambio estructural, las cuestiones de divergencia a los niveles meso y macro están, sin embargo, muy presentes. También cabe destacar la presencia de una sofisticada estilización de procesos de coevolución entre oferta y demanda. Finalmente, esta familia de modelos da cuenta de la existencia de bloqueos en las cuatro dimensiones planteadas.

3. Importancia relativa de las dimensiones y atributos en la construcción de cuatro familias de MEBA

En la primera sección identificamos un conjunto de atributos que permiten explicar en qué consisten, genéricamente, los MEBA. En la segunda sección, describimos el sendero evolutivo de cuatro tradiciones prominentes de estos modelos. En esta sección comparamos las cuatro tradiciones seleccionadas, a partir de la importancia relativa de los atributos identificados.

En términos generales, encontramos que los autores de todas las familias de modelos plantean la necesidad de una abstracción realista, la presencia de una economía evolutiva y la pertinencia de un análisis micro-meso-macro. Sin embargo, esto no necesariamente se refleja en la especificación de sus modelos. Por otro lado, los niveles micro-meso-macro coinciden con una visión de la agregación planteada por Dopfer, Potts y otros y, por tanto, especialmente en los modelos SKIN, las dimensiones macro consideradas no son directamente asimilables a la noción tradicional de macroeconomía. A su vez, el grado de realismo de los modelos ha ido aumentando a medida que crecieron las capacidades computacionales y se fueron generando desarrollos importantes en la corriente evolucionista.

Como se aprecia en la tabla 1, las tradiciones se diferencian fuertemente en términos de las dimensiones que hemos considerado.

Tabla 1

Familia de modelos y categorías analíticas		NelWin	S+K	LSD CE	SKIN
1. Dinámicas de generación y circulación del conocimiento	Innovación como cambio en las rutinas	No	No	No	Sí
	Coevolución conocim. codificado y tácito	No	No	No	Sí
	Interacciones intrafirma	No	No	No	Sí
	<i>Spillovers</i> como externalidades endógenas	No	No	No	Sí
	Especificidades sectoriales	No	No	Parcial	Sí
2. Factores en los procesos de búsqueda en un sistema <i>open-ended</i>	Racionalidad limitada	Parcial	Parcial	Sí	Sí
	Incertidumbre radical	Sí	Sí	Sí	Sí
	Heterogeneidad multidimensional	Parcial	Parcial	Sí	Sí
	Posibilidad inmanente de novedad	Parcial	Parcial	Sí	Sí
3. Dinámicas de sistemas complejos	<i>Path-dependence</i> e irreversibilidad	Parcial	Parcial	Sí	Sí
	<i>Feedbacks</i> positivos y no linealidad	No	Parcial	Parcial	Sí
	Rendimient. crec. y divergencia e/ sistemas	No	No	Sí	No
	Topología de redes (formales e informales)	No	No	No	Sí
4. Interfaces S-K	Coevolución entre oferta y demanda	No	Parcial	Sí	Parcial
	Interacción entre variables reales y financieras, y dinámicas minskianas	No	Sí	No	No
	Eficiencias dinámicas sectoriales (S y K)	No	No	Parcial	No
5. Bloqueos	Bloqueos a distintos niveles	No	Parcial	Sí	Sí

En primer lugar, y a pesar de la filiación evolucionista de todos los grupos de modelos que hemos repasado, solo logramos identificar una tradición de MEBA –la de los modelos SKIN– que da cuenta plenamente de las dinámicas de generación y circulación del conocimiento, en términos de los atributos planteados. Desde los ejercicios de simulación de Nelson y Winter (1982) hasta la actualidad, esta novedosa variante de los abordajes *history friendly* aplicada a redes de innovación es, entre los casos que hemos analizado, la única tradición que ha conseguido avanzar significativamente en la modelización de estos fenómenos. Este hallazgo resulta, cuando menos, intrigante, en vista de que el problema de la innovación –central para el evolucionismo– requiere dar cuenta de los procesos que dan lugar a la producción, difusión y acumulación del conocimiento. Los modelos SKIN incorporan formalmente la posibilidad de que los agentes intercambien conocimientos. En particular, son capaces de representar los flujos de conocimiento mediados por vínculos entre firmas, además de habilitar procesos de aprendizaje participativo. Asimismo, es posible afirmar que consideran las redes de rutinas y subrutinas internas y externas a la firma, una vez que los *kenes* se interpretan como los elementos de conocimiento científico, habilidades, y *expertise* necesarios para operar ciertas rutinas. En ese sentido, entendemos que el concepto de recombinación de *kenes* es, en principio, asimilable al cambio en las rutinas que representa la innovación. Por otra parte, algunos desarrollos recientes en términos de análisis multinivel son promisorios a este respecto, en tanto permiten dar cuenta del papel que desempeñan en estas dinámicas las interacciones al interior de la firma (Dilaver, Uyarra y Bleda, 2014). Más allá de esta tradición, el resto de los modelos dista significativamente de la conceptualización de Nelson y Winter (1982) respecto de las redes de rutinas y subrutinas en la organización que dan lugar a la

memoria organizacional y a los procesos de innovación. Finalmente, en relación con las aptitudes ocultas de los agentes y al conocimiento tácito que utilizan, encontramos que solo los modelos SKIN, al diferenciar las capacidades de las habilidades y el *expertise*, toman en cuenta la coevolución del conocimiento tácito y codificado.

En segundo lugar, en términos de los factores que dan cuenta de los procesos de búsqueda de los agentes, encontramos que los atributos con que las definimos se hacen presentes en las cuatro tradiciones de MEBA relevadas, aunque su incidencia es significativamente mayor en los modelos SKIN y en los LSD de cambio estructural. Observamos que, si bien todos los modelos reflejan la heterogeneidad, algunos la consideran en un número limitado de dimensiones. Tal es el caso de los modelos NelWin y los S+K, que introducen diferencias en las tecnologías de proceso que utilizan las firmas, pero no indagan la organización interna de las mismas, al suponer que el trabajo es homogéneo. En este sentido, la línea de trabajos S+K solo representa un avance marginal respecto de las contribuciones tempranas NelWin, ya que el principal objetivo de estos modelos de crecimiento es avanzar en la articulación de los niveles micro, meso y macro, y no centran su interés en representar una micro-meso de mayor sofisticación. En contraste, los modelos LSD de cambio estructural y, particularmente, los modelos SKIN consideran la heterogeneidad en múltiples niveles adicionales (por ejemplo, sectores o tipos de conocimiento). La posibilidad inmanente de novedad es un elemento presente en todos los casos, pero con distintos alcances. Por un lado, la emergencia de nuevos productos es una dimensión ausente en los modelos NelWin y en los modelos S+K, los cuales solo consideran oportunidades en las tecnologías de proceso. Por otro lado, la emergencia de nuevos sectores alcanza su formalización más acabada en los modelos LSD de cambio estructural, aunque también está presente en la familia SKIN.

En tercer lugar, los MEBA han incorporado en forma creciente dinámicas de sistemas complejos, lo cual refleja en parte la mayor capacidad de cómputo disponible. Todas las familias de modelos representan en algún grado los fenómenos de *path dependence* e irreversibilidad, que constituyen un atributo básico para la construcción de un MEBA. Sin embargo, en los modelos NelWin y S+K no es factible (en particular, en el primero) que los agentes cambien su conducta ante cambios en el entorno y desarrollen comportamientos plenamente adaptativos.⁶ Cabe señalar que los modelos SKIN y los LSD de cambio estructural se han concentrado en el desarrollo de distintos aspectos de esta dimensión. Por un lado, la familia SKIN modeliza en forma muy detallada los *feedbacks* al nivel micro, al considerar explícitamente la presencia y necesidad de las redes para dar cuenta de la dinámica de aprendizaje de las firmas. De hecho, las redes formales e informales en las que participan las empresas, más allá de las relaciones de compra venta, solo están consideradas en estos modelos, los cuales permiten indagar el modo en que estas redes contribuyen o no al desarrollo de las capacidades, al cambio de rutinas de las organizaciones y, por lo tanto, al estímulo de los procesos de innovación. Por otro lado, la familia LSD de cambio estructural, habilita

⁶ Si partimos de la premisa de que modelizar la firma es modelizar sus rutinas y estas se entienden como un sistema de subrutinas interconectadas que se modifican ante la aparición de problemas, entonces es crucial habilitar la posibilidad de que la resolución de los mismos afecte la toma de decisiones. Sin embargo, en el modelo original de Nelson y Winter (1982) no se permite a las firmas modificar sus esfuerzos de imitación y de innovación luego del primer periodo. Cabe destacar que en Winter (1984) ya se había presentado una versión extendida del modelo en que las estrategias de innovación de las firmas son adaptativas.

en principio el análisis de fenómenos de divergencia entre sistemas, atributo muy valioso, sobre todo para abordar las dinámicas evolutivas en los países en desarrollo.

En cuarto lugar, encontramos que solo las dos líneas de trabajos desarrolladas en el marco del proyecto LSD han dado lugar a la estilización de interfaces entre dinámicas schumpeterianas y keynesianas. En este caso, encontramos que la tradición SKIN se encuentra en desventaja relativa, a causa de sus limitados avances hacia la articulación de la micro-meso con una macro sofisticada. Los modelos LSD de cambio estructural han contribuido al estudio de la coevolución entre la oferta y la demanda al endogeneizar la distribución del ingreso. Asimismo, en la medida en que admiten múltiples sectores y cuentan con un nivel macro asimilable nocionalmente a un “país”, también resultan potencialmente aptos para dar cuenta de eficiencias dinámicas sectoriales⁷ y de procesos de causación acumulativa. Por su parte, los modelos S+K se destacan por haber incursionado en la incorporación de dinámicas financieras minskianas en los MEBA. Con todo, en la medida en que solo consideran un único sector productor de bienes de consumo, estos modelos cierran el camino a la emergencia de nuevos sectores (diversificación no relacionada).

Este conjunto de dimensiones y atributos que las constituyen presentan fuertes diferencias también en los MEBA cuando se plantea en forma transversal el espacio que se les da a la aparición de bloqueos. En ese sentido, los modelos LSD de cambio estructural son los que presentan una estilización más completa de los bloqueos, sobre todo por su capacidad de desplegar un auténtico abordaje micro-meso-macro. A pesar de que los SKIN son los que dan lugar a mayor variedad de bloqueos a nivel micro-meso, la falta de una macro sofisticada impone un límite en este sentido. Por otra parte, es muy modesto el papel que desempeñan los posibles bloqueos a nivel micro, meso y macro en los demás MEBA, particularmente en los desarrollos más tempranos. En particular, los modelos NelWin no incluyen virtualmente bloqueos de ningún tipo, a pesar de estar descriptos exhaustivamente a nivel micro en Nelson y Winter (1982). Por su parte, los S+K, a pesar de no analizar los *feedbacks* entre la oferta y la demanda ni entre capacidades y conexiones, tienen el mérito de plantear la posibilidad de trampas de bajo crecimiento cuando la demanda no es suficiente para acompañar el impulso generado por el motor schumpeteriano.

4. Conclusiones

⁷ Sin embargo, en la medida en que se trata de modelos de economías cerradas, comportan la limitación de no poder reflejar el impacto de *shocks* tales como el registrado con el auge de los *commodities* durante la última década. En ese sentido, cabe notar que tales modelos no habrían podido dar cuenta del crecimiento diferencial en favor de los países de menor desarrollo relativo en el periodo reciente. En lo que respecta a los modelos SKIN, si bien existen antecedentes de modelización de flujos exportadores en esta línea de trabajos (p. ej., Castellacci, Fevolden y Blom, 2014), hasta el momento ninguno de ellos ha considerado los flujos importadores. En general, distintos trabajos de la familia SKIN aportan estrategias de modelización susceptibles de combinarse y adaptarse exitosamente para reflejar en cierta medida el caso de economías abiertas en vías de desarrollo. Se trata de avances embrionarios que incorporan el tratamiento de las FME en economías abiertas, pero aún están lejos de tomar en cuenta las características productivas de los países en desarrollo (p.ej., Castellacci, Fevolden, y Blom, 2014; Blom, Castellacci y Fevolden, 2014; Ahrweiler, Schilperoord, Gilbert, y Pyka, 2012; Korber y Paier, 2014; Korber, Paier y Fischer, 2009; Hintze, 2015; Hintze y Lüthje, 2014; Blom y Hildrum, 2014; Müller, Buchmann y Kudic, 2014). Adicionalmente, es importante considerar la diferenciación no solo entre productos intermedios y terminados sino también entre dos grandes tipos de productos (*commodities* y productos diferenciados), con distintas reglas de fijación de precios, además de escenarios alternativos de evolución de precios internacionales de los *commodities*.

En este documento presentamos un conjunto de atributos que reúnen los MEBA, y que están presentes en grados variables en los diferentes modelos. Agrupamos estos atributos considerando las dinámicas de generación y circulación del conocimiento, las precondiciones de los procesos de búsqueda, las dinámicas de sistemas complejos, las interfaces entre dinámicas schumpeterianas y keynesianas, y la existencia de bloqueos. A su vez, estilizamos el sendero evolutivo de la literatura. Para ello, presentamos cuatro grupos de modelos -NelWin, SKIN, S+K y LSD de cambio estructural-, que abordan el problema del desenvolvimiento económico a diferentes niveles, considerando distintos motores. En ese marco, comparamos dichas tradiciones en términos de los atributos que enfatizan, lo que nos permitió establecer el posicionamiento distintivo de cada una de ellas.

Como planteamos a lo largo del documento, los MEBA representan una iniciativa destacable de modelización en el campo del evolucionismo neoschumpeteriano. En ese sentido, pueden ser útiles para la simulación de políticas de innovación alternativas. Sin embargo, como hemos visto, la mayoría de los modelos comporta en la actualidad la limitación de no contemplar un esquema de economías abiertas. El poder descriptivo de tales simulaciones está fuertemente restringido, ya que las dinámicas asociadas a las nuevas formas de comercio internacional y al funcionamiento de las cadenas globales de valor tienen un creciente impacto tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo.

Estas limitaciones son más acusadas en el caso de los países en desarrollo, donde existe una asociación entre determinados perfiles de especialización externa y trampas de bajo crecimiento y donde la implementación de políticas orientadas al desarrollo de las capacidades endógenas puede ser decisiva. Sin embargo, en la actualidad, la mayor parte de las intervenciones surge de la existencia de fallas del mercado o del Estado, tal y como las definen los modelos ortodoxos. Desde una perspectiva heterodoxa, dichas "fallas" distan de ser fenómenos marginales y, en cambio, están diseminadas por el sistema, son generalizadas y reflejan el comportamiento normal del capitalismo.

Dado el conflicto que se plantea en los países en desarrollo entre la asignación de recursos según la eficiencia ricardiana y la schumpeteriana, se impone la necesidad de políticas de intervención que promuevan la generación y circulación del conocimiento y, por esa vía, fortalezcan la competitividad de las firmas (Castellacci, 2008; Lundvall, Joseph, Chaminade y Vang, 2010), en lugar de las tradicionales ventajas de tipo estático, que conllevan el riesgo de caer en la "trampa de los países de ingresos medios" (Lee, 2013).

Un MEBA que incluya buena parte de las dimensiones ontológicas planteadas permitiría tener en cuenta, además de estos hechos estilizados, un conjunto de fenómenos adicionales, tales como los condicionamientos asociados a la presencia de firmas multinacionales extranjeras (FME), integradas en cadenas globales de valor, que limitan las posibilidades de desarrollar proveedores locales en los países en desarrollo (Marin y Bell, 2010; Dinenzon, Robert y Yoguel, 2010; Erbes, Robert, Rojo Brizuela y Yoguel, 2011). Dicho fenómeno puede constituir un bloqueo al impulso de las capacidades endógenas, ya que las firmas locales experimentan dificultades para acceder a los problemas –fundamentales para catalizar los procesos de aprendizaje– que aparecen cuando se producen y diseñan esos productos complejos.

Por otra parte, si bien en los países desarrollados la disponibilidad de amplias bases de datos es cada vez más habitual para industrias como las basadas en biotecnología o las de información y telecomunicaciones (Ahrweiler, Pyka y Gilbert, 2004), estas raramente están disponibles en países en desarrollo, circunstancia que limita las posibilidades de implementar una metodología de este tipo.

A pesar de estas limitaciones, consideramos que los MEBA son una herramienta capaz de contribuir a un diseño más idóneo de políticas de intervención, en particular, en aquellas orientadas a actuar sobre las capacidades y las conexiones de los elementos del sistema. Para los países en desarrollo la introducción de nuevos instrumentos de política para simular resultados y mejorar la eficiencia de las políticas públicas es particularmente promisorio.

Referencias

- Ahrweiler, P.; Pyka, A.; Gilbert, N. (2004): "Simulating knowledge dynamics in innovation networks (SKIN)". En Leombruni, R.; Richiardi, M. (eds.): *Industry and labor dynamics: the agent-based computational economics approach*. Singapore: World Scientific.
- (2011): "A New Model for University-Industry Links in Knowledge-Based Economies". *Journal of Product Innovation Management*, 28(2), 218-235.
- (2014): "Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks: An Introduction". En Gilbert, N.; Ahrweiler, P.; Pyka, A. (eds.): *Simulating knowledge dynamics in innovation networks*. Heidelberg: Springer.
- Antonelli, C. (1999): "The evolution of the industrial organisation of the production of knowledge". *Cambridge Journal of Economics*, 23(2), 243-260.
- (2014): "La complejidad económica del conocimiento tecnológico, la innovación y el cambio estructural". En Barletta, F.; Robert, V.; Yoguel, G.: *Tópicos de la teoría evolucionista neoschumpeteriana de la innovación y el cambio tecnológico (vol. 1)*. Buenos Aires: Miño y Dávila.
- Antonelli, C.; Ferraris, G. (2011): "Innovation as an emerging system property: an agent based simulation model". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 14(2), 1.
- Argyris, C.; Schön, D.A. (1978): *Organisational learning: a theory of action perspective*. Addison-Wesley, Reading (reedición, 1996).
- Breschi, S.; Malerba, F.; Orsenigo, L. (2000): "Technological regimes and Schumpeterian patterns of innovation". *The Economic Journal*, 110(463), 388-410.
- Cantner, U.; Pyka, A. (1998): "Absorbing technological spillovers: simulations in an evolutionary framework". *Industrial and Corporate Change*, 7(2), 369-397.
- Castellacci, F. (2006): "A critical realist interpretation of evolutionary growth theorizing". *Cambridge Journal of Economics*, 861-880.
- (2008): "Innovation and the competitiveness of industries: Comparing the mainstream and the evolutionary approaches". *Technological Forecasting and Social Change*, 75(7), 984-1006.
- Chiaromonte, F.; Dosi, G. (1993): "Heterogeneity, competition and macroeconomic dynamics". *Structural Change and Economic Dynamics* 4, 39-63.

- Chiaromonte, F.; Dosi, G.; Orsenigo, L. (1993): “Innovative learning and institutions in the process of development: On the microfoundation of growth regimes”. En Thompson, R. (ed.): *Learning and Technological Change*. Londres: Macmillan.
- Chick, V. (1995): “Is There A Case For Post Keynesian Economics?”. *Scottish Journal of Political Economy*, 42(1), 20-36.
- (2004): “On open systems”. *Brazilian Journal of Political Economy*, 24(1), 3-16.
- Ciarli, T.; Lorentz, A.; Savona, M.; Valente, M. (2010): “The effect of consumption and production structure on growth and distribution. A micro to macro model”. *Metroeconomica*, 61(1), 180-218.
- Ciarli, T.; Savona, M.; Valente, M. (2013): “The role of technology, organisation, and demand in growth and income distribution”. *Technology*.
- Cyert, R.M.; March, J.G. (1963): *A behavioral theory of the firm*. Englewood Cliffs, NJ.
- Dawid, H. (2006): “Agent-based models of innovation and technological change”. *Handbook of computational economics*, 2, 1235-1272.
- Dilaver, Ö.; Bleda, M.; Uyarra, E. (2014): “Entrepreneurship and the emergence of industrial clusters”. *Complexity*, 19(6), 14-29.
- Dilaver, Ö.; Uyarra, E.; Bleda, M. (2014): “Multilevel Analysis of Industrial Clusters: Actors, Intentions and Randomness Model”. En *Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks* (pp. 217-241). Heidelberg: Springer.
- Dinenzon, M.; Robert, V.; Yoguel, G. (2011): “Estrategias de las filiales de multinacionales en la Argentina: cadena de valor y autonomía”. En Novick, M.; Palomino, H.; Gurrera, M.S. (coords.): *Multinacionales en la Argentina; estrategias de empleo, relaciones laborales y cadenas globales de valor*. Buenos Aires: PNUD Argentina y Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social.
- Dopfer, K. (2011): “Mesoeconomics: a unified approach to systems complexity and evolution”. En Antonelli, C.: *Handbook on the Economic Complexity of Technological Change*. Cheltenham y Northampton: Edward Elgar.
- Dopfer, K.; Foster, J.; Potts, J. (2004): “Micro meso macro”. *Journal of Evolutionary Economics* 14, 263–279.
- Dosi, G. (1988): “Institutions and markets in a dynamic world”. *The Manchester School*, 56(2), 119-146.
- Dosi, G. (2014): “Dinámica y Coordinación Económica. Algunos Elementos para un Paradigma Alternativo ‘Evolucionista’”. En Barletta, F.; Robert, V.; Yoguel, G.: *Tópicos de la teoría evolucionista neoschumpeteriana de la innovación y el cambio tecnológico (vol. I)*. Buenos Aires: Miño y Dávila.
- Dosi, G.; Fabiani, S.; Aversi, R.; Meacci, M. (1994): “The dynamics of international differentiation: a multi-country evolutionary model”. *Industrial and Corporate Change* 3, 225–242.
- Dosi, G.; Fagiolo, G.; Napoletano, M.; Roventini, A. (2013): “Income distribution, credit and fiscal policies in an agent-based Keynesian model”. *Journal of Economic Dynamics and Control*.

- Dosi, G.; Fagiolo, G.; Roventini, A. (2006): "An evolutionary model of endogenous business cycles". *Computational Economics*, 27(1), 3-34.
- (2010): "Schumpeter meeting Keynes: A policy-friendly model of endogenous growth and business cycles". *Journal of Economic Dynamics and Control*, 34(9), 1748-1767.
- Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, R.; Silverberg, L.S. (1988): *Technical change and economic theory*. Londres: Pinter.
- Dosi, G.; Winter, S. (2002): "Interpreting economic change: evolution, structures and games". En Augier, M.; March, J.: *The Economics of Choice, Change, and Organizations*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Dow, S. C. (1997): "Methodological pluralism and pluralism of method". *Pluralism in Economics: New Perspectives in History and Methodology*, 89-99.
- Erbes, A.; Robert, V.; Rojo Brizuela, S.; Yoguel, G. (2011): "Capacidades de absorción y conectividad, relaciones laborales y dinámica del empleo en las filiales argentinas". En Novick, M.; Palomino, H.; Gurrera, M.S. (coords.): *Multinacionales en la Argentina; estrategias de empleo, relaciones laborales y cadenas globales de valor*. Buenos Aires: PNUD Argentina y Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social.
- Fagiolo, G.; Dosi, G. (2003): "Exploitation, exploration and innovation in a model of endogenous growth with locally interacting agents". *Structural Change and Economic Dynamics* 14, 237–273.
- Garavaglia, C. (2010): "Modelling industrial dynamics with 'History-friendly' simulations". *Structural Change and Economic Dynamics*, 21(4), 258-275.
- Gilbert, N. (1997): "A simulation of the structure of academic science". *Sociol Res Online* 2(2):3.
- Gilbert, N.; Ahrweiler, P.; Pyka, A. (2007): "Learning in innovation networks: Some simulation experiments". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 378(1), 100-109.
- (2014): *Simulating knowledge dynamics in innovation networks*. Heidelberg: Springer.
- Gilbert, N.; Pyka, A.; Ahrweiler, P. (2001): "Innovation networks-a simulation approach". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4(3), 1-13
- Hodgson, G.M. (1998a): "Evolutionary and Competence-Based Theories of the Firm". *Journal of Economic Studies*, 25(1), pp. 25-56.
- (1998b): "The approach of institutional economics". *Journal of Economic Literature*, 166-192.
- Lee, K. (2013): *Schumpeterian Analysis of Economic Catch-up: Knowledge, Path-creation, and the Middle-income Trap*. Cambridge University Press.
- Lundvall, B-A; Joseph, K.J.; Chaminade, C.; Vang, J. (2010): *Handbook on Innovation Systems and Developing Countries: Building Domestic Capabilities in a Global Setting*. Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar.

- Malerba, F.; Nelson, R.; Orsenigo, L.; Winter, S. (2001): "History-friendly models: an overview of the case of the computer industry". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4(3), 11.
- Marin, A.; Bell, M. (2010): "The local/global integration of MNC subsidiaries and their technological behaviour: Argentina in the late 1990s". *Research Policy*, 39(7), 919-931.
- Metcalf, J.S. (1995): "Technology systems and technology policy in an evolutionary framework". *Cambridge Journal of Economics*, 19(1), 25-46.
- Metcalf, J.S.; Foster, J.; Ramlogan, R. (2006): "Adaptive economic growth". *Cambridge Journal of Economics*, 30(1), 7-32.
- Metcalf, J.S.; Ramlogan, R. (2008): "Innovation systems and the competitive process in developing economies". *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 48(2), 433-446.
- Metcalf, J.S.; Ramlogan, R.; Uyarra, E. (2003): "Economic development and the competitive process", First Globelics Seminar, Rio, Brasil.
- Nelson, R.R. (1991): "Why Do Firms Differ, and How Does it Matter?". *Strategic Management Journal*, vol. 12, pp. 61-74.
- Nelson, R.R.; Winter, S.G. (1982): *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press.
- Pavitt, K. (1984): "Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory". *Research Policy*, 13(6), 343-373.
- Pyka, A. (2002): "Innovation networks in economics: from the incentive-based to the knowledge-based approaches". *European Journal of Innovation Management*, 5(3), 152-163.
- Pyka, A.; Gilbert, N.; Ahrweiler, P. (2007): "Simulating knowledge-generation and distribution processes in innovation collaborations and networks". *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 38(7), 667-693.
- _____ (2009): "Agent-based modelling of innovation networks—the fairytale of spillover". En *Innovation Networks* (pp. 101-126). Springer Berlín Heidelberg.
- Pyka, A.; Kueppers, G. (2003): *Innovation networks: theory and practice*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Robert, V.; Yoguel, G. (2013): "El enfoque de la complejidad y la economía evolucionista de la innovación" *Filosofía de la economía*, 1, Julio.
- Saviotti, P.P.; Pyka, A. (2004): "Economic development by the creation of new sectors". *Journal of Evolutionary Economics*, 14, pp.1-35.
- _____ (2008): "Technological Change, Product Variety and Economic Growth". *Journal of Evolutionary Economics*, 18(3-4), 323-347.
- _____ (2009): "Product variety, competition and economic growth". En *Schumpeterian Perspectives on Innovation, Competition and Growth* (pp. 71-95). Springer Berlín Heidelberg.

- Schumpeter, J. ([1911] 1997): *Teoría del desenvolvimiento económico*. Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- Silverberg, G.; Verspagen, B. (1994): “Collective learning, innovation and growth in a boundedly rational, evolutionary world”. *Journal of Evolutionary Economics* 4, 207–226.
- (1995): “An evolutionary model of long term cyclical variations of catching up and falling behind”. *Journal of Evolutionary Economics* 5, 209–227.
- (1996): “From the artificial to the endogenous: modeling evolutionary adaptation and economic growth”. En Helmstädter, E.; Perlman, M. (eds.): *Behavioral Norms, Technological Progress, and Economic Dynamics*. The University of Michigan Press, Ann Arbor, pp. 331–354.
- Simon, H.A. (1955): “A behavioral model of rational choice”. *The quarterly journal of economics*, 99-118.
- Valente, M. (1997): “Laboratory for simulation development user manual” (No. ir97020). <http://webarchive.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-97-020.pdf>
- (1999): “Evolutionary Economics and Computer Simulation: A model for the evolution of markets”. PhD Dissertation in Economics - University of Aalborg.
- Valente, M.; Andersen, E.S. (2002): “A hands-on approach to evolutionary simulation: Nelson and Winter models in the Laboratory for Simulation Development”. *Electronic Journal of Evolutionary Modeling and Economic Dynamics*, 1(1), 1-45.
- Windrum, P.; Fagiolo, G.; Moneta, A. (2007): “Empirical validation of agent-based models: Alternatives and prospects”. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10(2), 8.
- Yoguel, G. (2007): “Tramas productivas y generación de ventajas competitivas: un abordaje metodológico para pasar de la firma individual a la red”. En Novick, M.; Palomino, H. (eds.): *Estructura productiva y empleo*. Buenos Aires: Miño y Dávila, Ministerio de Trabajo.