



Formación Universitaria

E-ISSN: 0718-5006

citrevistas@gmail.com

Centro de Información Tecnológica

Chile

Astudillo, Hernán F.; Navarrete, Moira A.; Jara, Cristian I.; Faúndez, Claudio A.  
Evidencia de Auto Aprendizaje como Manifestación de un Comportamiento Colectivo  
Espontáneo en el Aula  
Formación Universitaria, vol. 8, núm. 1, 2015, pp. 43-50  
Centro de Información Tecnológica  
La Serena, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=373544188006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Evidencia de Auto Aprendizaje como Manifestación de un Comportamiento Colectivo Espontáneo en el Aula

Hernán F. Astudillo<sup>(1)</sup>, Moira A. Navarrete<sup>(2)</sup>, Cristian I. Jara<sup>(1)</sup> y Claudio A. Faúndez<sup>(1)</sup>

(1) Depto. De Física, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Concepción, Barrio Universitario s/n, Casilla 160-C, Concepción-Chile (e-mail: hastudil@udec.cl, cristian.jara.figueroa@gmail.com, claudiofaundez@udec.cl).

(2) Carrera de Pedagogía en Ciencias Naturales y Física. Facultad de Educación, Universidad de Concepción, Edmundo Larenas 335, Concepción-Chile (e-mail: moiranavarrete@udec.cl)

*Recibido Sep. 16, 2014; Aceptado Nov. 14, 2014; Versión final recibida Dic. 11, 2014*

---

### Resumen

Se muestra que el aula es un colectivo cuyo comportamiento debe ser descrito como un sistema complejo. Se presenta evidencia de que los elementos que conducen a procesos de auto aprendizaje sinérgicos existen y son inducidos por el colectivo. El proceso ocurrió a estudiantes de una asignatura obligatoria de la Carrera de Pedagogía en Física en la Universidad de Concepción (Chile). Los estudiantes adquirieron habilidades y destrezas para el auto-aprendizaje como resultado de un proceso de auto organización del colectivo, emergente y espontáneo. El incremento de la afinidad del grupo, modelada como una red compleja de tipo social, evidencia una transición de fase sociológica, donde los estudiantes interactúan en un estado más ordenado, consistente con la adaptación del grupo para trabajar en una red eficiente de colaboración mejorando el auto aprendizaje.

*Palabras clave: auto aprendizaje, sistemas complejos, comportamiento colectivo, enseñanza-aprendizaje*

## Evidence of Self Learning as Manifestation of Spontaneous Collective Behavior in the Classroom

### Abstract

It is shown that the classroom is a group whose behavior should be described as a complex system. Evidence is presented that indicates that the elements that lead to self synergistic learning processes exist and are induced by the collective. The process happened to students in a mandatory course of the Physics Teacher degree at the University of Concepción (Chile). The students acquired skills for self-learning as a result of a process of collective, emergent and spontaneous self-organization. The increasing of the group affinity, modeled as a complex social network, shows a sociological transition phase, where students interact in a more ordered state, which is consistent with the adaptation of the group to work in an efficient collaborative network improving self-learning.

*Keywords: self-learning, complex systems, collective behavior, teaching and learning*

## INTRODUCCIÓN

El estudio de los sistemas complejos observados en la naturaleza ha inspirado una gran cantidad y variedad de aplicaciones en las diversas áreas de la actividad humana y en particular en sistemas sociológicos, a los que pertenece la educación. Como producto de esta actividad se puede mencionar la aparición en la arena científica de la Sociofísica y la Econofísica (ver por ejemplo, Chakrabarti et al., 2007). Los sistemas complejos son sistemas en los que el comportamiento colectivo de sus partes da origen a propiedades que emergen de éste que, en el mejor de los casos, difícilmente pueden ser inferidas de las propiedades de las partes. La emergencia, en el sentido del surgimiento, hace referencia a aquellas propiedades o procesos de un sistema no reductibles a las propiedades o procesos de sus partes constituyentes (Ay et al., 2011). El concepto de emergencia se relaciona estrechamente con el concepto de auto-organización crítica (Bak, 1996) y este a su vez con el anti-caos (Lansing, 1999). Socialmente, la complejidad de un sistema se constata cuando lo que surge o emerge de una colectividad de individuos que interaccionan no puede ser inferido por la sola naturaleza de éstos. Como establece Ay et al., 2011, la más famosa cita sobre los sistemas complejos se atribuye a Aristóteles y dice “El todo es más que la suma de sus partes”. Esta frase es en realidad una síntesis de la discusión a lo largo del libro VII de La Metafísica (Ver Obras de Aristóteles, Patricio de Azcárate vol. (10), Madrid 1875). Para esclarecer la naturaleza de los comportamientos colectivos desde el punto de vista de la física, las transiciones de fase son un tópico relevante. El ejemplo, probablemente más utilizado, para clarificar el fenómeno de la emergencia es la aparición de la magnetización en la transición de fase para-ferromagnética.

De todas las áreas en que los sistemas se manifiestan como sistemas complejos es de particular importancia el estudio de los sistemas sociológicos pues construyen la sociedad. De entre estos, el problema de la calidad y la pertinencia de la educación que recibe cada individuo tienen una relevancia sin igual para el desarrollo de una civilización. En cualquier diseño de sistema educativo que se discorra ha de existir una constante: El Aula. Una definición general para El Aula puede ser: el sitio donde la sociedad agrupa un número de individuos en etapa de formación para adquirir las herramientas, las habilidades, las destrezas y competencias que cada uno requiere para desenvolverse con autonomía en la sociedad. En el aula, los individuos, inherentemente heterogéneos, mediante interacciones de carácter tanto sociológicas (de la civilización) como antropológicas (de la naturaleza), construyen de forma natural un colectivo. La heterogeneidad de los individuos que componen el aula se origina, por un lado en la naturaleza del individuo y por el otro en los aspectos culturales de los distintos hábitat que componen la población usuaria, los que están sometidos a una diversidad de condiciones de contorno e iniciales.

Dado que es prioridad que la calidad de la educación alcance a cada individuo es que en este estudio nos enfocamos en describir la dinámica de los procesos que tienen lugar al interior del aula donde cada alumno es prioritariamente el centro del aula. En particular nuestro interés estriba en dar sustento a la hipótesis: “Para generar un ambiente de aprendizaje virtuoso en el aula, donde cada alumno alcanza, al menos, las metas establecidas, es necesario que la adquisición de la competencia del auto aprendizaje sea una manifestación de la dinámica del colectivo”.

En la siguiente sección reportamos un proceso donde la adquisición de la competencia del auto aprendizaje es inducida por el colectivo y surgido de manera espontánea, lo que da un primer sustento a la hipótesis establecida. Este colectivo fue conformado por 19 estudiantes de la asignatura Ciencia y Tecnología de la Carrera de Pedagogía en Ciencias Naturales y Física de la Universidad de Concepción. El estudio está basado en una muestra la cual se obtuvo integrando información durante un semestre, dando cuenta de un comportamiento sostenido de los estudiantes. En la sección posterior se determina la naturaleza del evento para lo que se realizó un análisis usando herramientas de los sistemas complejos desarrollados para el análisis de las redes sociales (Watts y Strogatz, 1998, Albert y Barabási 2002) y en particular en redes para el aprendizaje (Mason y Watts, 2012). Por medio de las características topológicas de las redes complejas se obtiene la información sociológica relevante para interpretar los cambios de característica del comportamiento del colectivo. Finalmente, se expone una relación de los hechos observados y la evidencia empírica del cambio de comportamiento sociológico inducido por el colectivo a sí mismo, dinámica que condujo a la obtención de aprendizajes significativos de manera eficiente al interior de un colectivo que, en un proceso simultáneo intensifica sus lazos de afinidad.

## COMPORTAMIENTO COLECTIVO ESPONTÁNEO EN EL AULA

En esta sección reportamos los resultados de un proceso en el cual la adquisición de la competencia (de carácter individual) del auto aprendizaje fue inducido por medio de una acción coordinada por el colectivo y surgida de manera espontánea. Este colectivo fue conformado por estudiantes de la asignatura Ciencia y Tecnología de la Carrera de Pedagogía en Ciencias Naturales y Física de la Universidad de Concepción. Esta asignatura forma parte del octavo semestre de la carrera y el evento de la adquisición del auto

aprendizaje inducida por el colectivo, ocurrió durante el segundo semestre de 2013.

Este evento puede ser caracterizado como espontáneo puesto que obedeció, sin ser excluyentes, a las siguientes acciones y condiciones: i) El programa de la asignatura permite la libertad metodológica, de evaluación y de contenidos; ii) La imagen previa que tenían los estudiantes de la asignatura careció de elementos de motivación; iii) Los estudiantes tuvieron la libertad de diseñar de manera adaptativa los contenidos de la asignatura; y iv) La urgencia de los estudiantes de adquirir herramientas prácticas para el desarrollo de sus actividades futuras en el aula.

El colectivo se apropió de la proposición de una estudiante de utilizar robótica para inducir aprendizajes en el aula. El tema se indujo mediante vídeos mostrando la dinámica colectiva en enjambres de robots (Giomi et al., 2013). La robótica del enjambre es una aproximación a la robótica de colectivos que se inspira en los comportamientos de sociedades animales bajo un proceso de auto organización crítica. Estos comportamientos se observan en la dinámica de peces en cardumen y en manadas salvajes (Brambilla et al., 2013). A partir de esta información, el colectivo se organizó en varias etapas: Exploración para la construcción de robots, la organización en grupos de trabajo para conseguir objetivos comunes, en una dinámica de grupo con una actividad continua y constante. Cabe destacar que no todos los estudiantes fueron inicialmente motivados a construir robots con afanes didácticos.

Los resultados macroscópicos de esta forma de desarrollar la asignatura se pueden caracterizar (según la visión del docente) como: i) El objetivo emergente del colectivo para la asignatura fue desarrollar herramientas para la aplicación de técnicas pedagógicas en el aula, basadas en la robótica tanto de enjambres así como el desarrollo de portentos artificiales; ii) El diseño de estrategias adaptativas para el trabajo colectivo; y iii) Construcción, con objetivos de carácter pedagógico, de sistemas complejos para la observación de fenómenos emergentes en sistemas artificiales. La relevancia de esta aseveración obtiene su fundamento con la cantidad y variedad de las habilidades adquiridas por los estudiantes, según se desprende de la información entregada por los ellos.

A partir de los resultados obtenidos en la asignatura los alumnos respondieron a las siguientes consultas:

1.- ¿Qué logros de carácter pedagógico consiguió? y 2.- ¿Qué áreas del conocimiento integró durante el desarrollo de la asignatura?

Cada estudiante entregó la respuesta de manera individual por medio de una lista donde estableció su vivencia. A partir de los logros, que los estudiantes informaron haber obtenido de la dinámica del colectivo, se observa que estos se pueden agrupar en objetivos para la asignatura, en competencias adquiridas y en integración de materias. Estos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Objetivos conseguidos en la asignatura, competencias adquiridas e integración de materias reportadas por los estudiantes.

<i>Objetivos para la asignatura resultantes de la dinámica del colectivo</i>	
1. Aplicar conocimientos teóricos para la construcción de aparatos tecnológicos.	7. Descubrir la utilidad de los dispositivos tecnológicos.
2. Adquirir conocimientos de circuitos mediante la práctica.	8. Optimizar recursos disponibles (reciclado).
3. Aprender y adquirir lenguaje electrónico.	9. Identificar y conocer dispositivos electrónicos.
4. Adquirir la habilidad de utilizar herramientas para construir y soldar.	10. Trabajar en equipo.
5. Desarrollar destrezas y habilidades tecnológicas.	11. Construir redes
6. Construir dispositivos tecnológicos.	
<i>Competencias adquiridas</i>	
1. Perseverancia	3. Responsabilidad
2. Tolerancia	4. Organización
<i>Materias Integradas</i>	
1. Electricidad y Computación	4. Mecánica y Electricidad
2. Electrónica y Mecánica	5. Electrónica y Diseño
3. Economía y Gestión	

Las frecuencias de los objetivos, competencias adquiridas y materias integradas se muestran en la Figura 1. Como se observa, para el caso de los objetivos, es interesante notar que los estudiantes cumplieron con al menos siete objetivos de un total de doce. Este número es superior al número de objetivos que contienen la mayor parte del currículum de las asignaturas. Para el caso de las competencias declaradas por los estudiantes, que se muestran en la Tabla 1, el colectivo declaró obtener la mayoría de ellas. En cuanto a materias integradas la mayoría de los alumnos declaran la integración entre las materias de electrónica y mecánica y mecánica y electricidad, además hacemos notar que la materia integrada de economía y gestión no forma parte del currículum de la carrera.

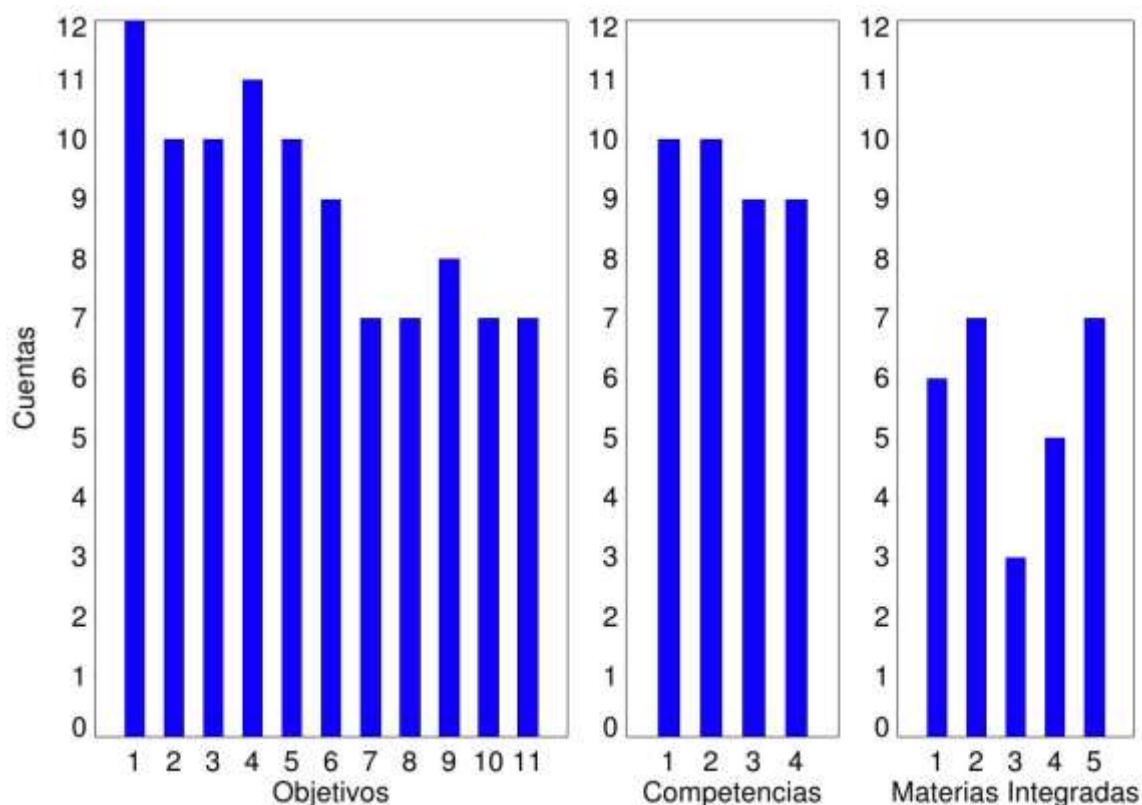


Fig. 1: De izquierda a derecha se muestran los gráficos de los objetivos, las competencias y materias integradas.

## ANÁLISIS TOPOLÓGICO

En analogía con el proceso del ferromagnetismo, los grupos sociales también son susceptibles al cambio de comportamientos descriptibles como transiciones de fase. Un ejemplo notable es el de la Ola Mexicana en los estadios. Estas transiciones son observables en el comportamiento de las variables de origen sociológico, como la afinidad.

Es imprescindible el hacer mención de que no se llevó un registro cuantitativo de la evolución del proceso, puesto que no fue posible planificar el fenómeno colectivo, emergente e inesperado que tuvo lugar. Por ello este reporte queda condicionado por la necesidad de obtener información *a posteriori*. La herramienta utilizada para caracterizar la dinámica del grupo es la construcción de redes asociadas a la naturaleza del colectivo (Albert y Barabasi, 2002; Boccaletti et al., 2006). Mediante la construcción de grafos, donde los estudiantes son los nodos y los enlaces son la afinidad y la colaboración, se construyen la red de afinidad previa, la red de afinidad posterior y la red de colaboración para los aprendizajes colectivos. Todas ellas se construyeron en base a la información provista por los estudiantes una vez finalizada la asignatura. En particular, para el análisis de las características topológicas de la red de colaboración se comparan los resultados del análisis con las observaciones en eventos controlados con redes de colaboración para el aprendizaje colectivo (Mason y Watts, 2012).

La construcción de las redes de afinidad pre y post proceso se realizó de acuerdo al siguiente protocolo: Se solicitó a los estudiantes la lista de sus compañeros que cumplieran con la condición de ser afines al momento de la primera sesión y afines al momento de la última. Para seleccionar a un afín el procedimiento a seguir es mentalmente ubicar al individuo en un grupo de 1000 desconocidos. Si sientes la tendencia a acercarte a conversar entonces es un afín. A partir de esta información se construye un grafo no direccionado en el que

cada nodo representa a un estudiante, y dos nodos se unen mediante un enlace cuando existe afinidad entre ellos. La red de colaboración para el aprendizaje se construyó solicitando la lista de los compañeros de asignatura de quienes obtuvieron un aprendizaje significativo. Esta información nos permite construir un grafo direccionado ya que la información fluye de un nodo a otro. Los resultados se muestran en la Figura 2 donde, de izquierda a derecha, se muestran los grafos correspondientes a la afinidad previa, la afinidad posterior y la red de colaboración efectiva del semestre. En la figura, los nodos de un mismo color pertenecen a una misma comunidad y el tamaño de cada nodo es proporcional a su centralidad de intermediación, es decir, a su relevancia en la conectividad de la red.

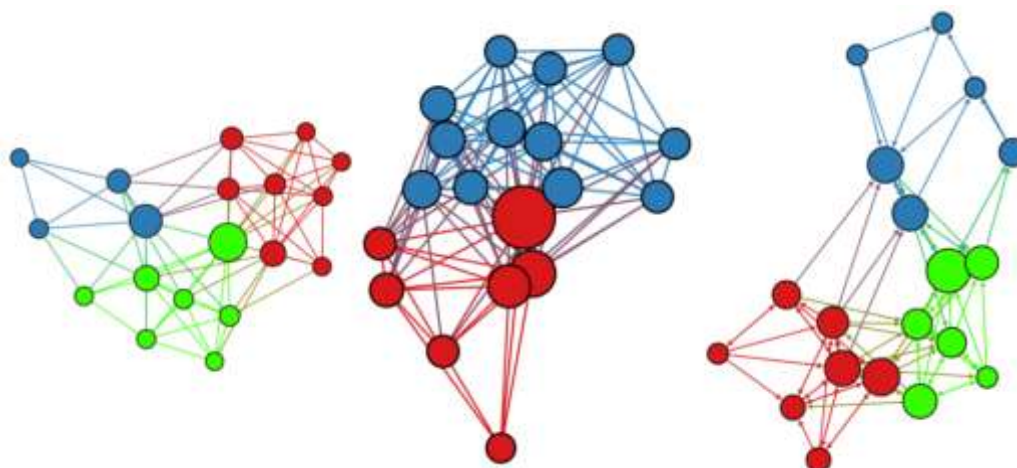


Fig. 2: De izquierda a derecha los grafos correspondientes a la afinidad previa, a la afinidad posterior y a la red de colaboración efectiva del semestre.

En la literatura relativa a las redes sociales (van Steen, 2010) aparecen como relevantes los conceptos de centralidad de intermediación, coeficiente de agrupamiento y longitud de camino medio, que se describen en la Tabla 2. Para el análisis de las propiedades topológicas de las redes se utilizó el software de código libre Gephi (<https://gephi.org/>).

Tabla 2: Algunos conceptos de redes sociales

Concepto	Descripción
Centralidad de intermediación (betweenness centrality)	Es una medida de que tan central e importante es un nodo para la conectividad de la red. En una red social, un nodo con una centralidad alta corresponde a un individuo por el que pasa mucha información (Van Steen, 2010). Una red que tiene un individuo, o un conjunto de individuos, con una centralidad alta tenderá a favorecer el aprendizaje de estos, dejando a los demás en desventaja (Mason y Watts, 2012). El algoritmo de cálculo puede encontrarse en Brandes, 2001.
Coeficiente de agrupamiento (clustering coefficient)	Esta cantidad da una idea de que tan conectados están entre sí los individuos que se conectan al individuo a analizar. Dicho de otra forma, nos centramos en uno de los estudiantes y vemos como se estructuran los estudiantes que están conectados a él. Si un nodo tiene un coeficiente de agrupamiento muy alto, significa que sus vecinos tienden a agruparse entre sí; este nodo tendrá la tendencia a imitar lo que hacen sus vecinos. Cuando esto ocurre la red no busca nuevas soluciones a los problemas y se estanca el aprendizaje (Mason y Watts, 2012). El algoritmo de cálculo puede encontrarse en Latapy, 2008.
Longitud de camino medio	Mide el número de enlaces que debe recorrer la información para viajar de un nodo a otro. Los resultados de Mason y Watts, 2012 apuntan a que una red será más eficiente mientras más pequeña sea la longitud de camino medio, ya que la información viajará mucho más rápido. El algoritmo de cálculo puede encontrarse en Brandes, 2001.

#### *Red de afinidad previa:*

Esta red posee dos nodos/estudiantes con una alta centralidad de intermediación comparada con los demás nodos/estudiantes. Estos nodos actúan como vínculo entre las 3 comunidades existentes (Blondel et al., 2008), cada una caracterizada con distinto color. Se ha determinado que esta estructura tan centralizada no es favorable para el aprendizaje (Mason y Watts, 2012). La red tiene una longitud de camino medio pequeña, lo que es consistente con una red potencialmente eficiente a la hora de aprender, según lo establecen los resultados de Mason y Watts, 2012. Sin embargo, el coeficiente de agrupamiento medio es



bastante alto que es una característica que puede tener consecuencias negativas para el aprendizaje (Mason y Watts, 2011). Esta red de 3 comunidades está muy agrupada y centralizada. Ambas características son poco favorables para el aprendizaje (Mason y Watts, 2012). Mas, esta red tiene una longitud de camino medio pequeña que es una característica necesaria para dar sustento a un proceso aprendizaje colectivo.

#### *Red de afinidad posterior:*

La primera modificación topológica importante que se constata al observar este grafo es que la red disminuyó el número de comunidades, mostrando un incremento en la afinidad entre las personas. El coeficiente de agrupamiento medio ha aumentado, a consecuencia del incremento del número de enlaces. Los nodos que aparecían inicialmente como nodos centrales han disminuido considerablemente su importancia relativa a los nodos periféricos. La red ha cambiado a una topología menos centralizada lo que favorece sustantivamente el aprendizaje colectivo (Mason y Watts, 2012). La longitud de camino medio ha disminuido como se observa en la Tabla 3.

#### *Red de colaboración:*

Una característica interesante de esta red es la ausencia de un nodo central como lo había en la red de afinidad previa. Esto indica una reorganización del grupo en una estructura más favorable al aprendizaje. El coeficiente de agrupamiento medio se reduce en un 42%, característica de las redes que también favorece el aprendizaje. Siendo la red direccionada, se constata que la longitud de camino medio se mantiene baja. Esta red, poco centralizada, con bajo coeficiente de agrupamiento y con una pequeña longitud de camino medio es muy eficiente para el aprendizaje, como se desprende de los resultados obtenidos por Mason y Watts, 2012.

A partir del análisis de las tres redes podemos concluir lo siguiente: La red de afinidad previa muestra un gran potencial para el aprendizaje ya que tiene una longitud de camino medio pequeña, sin embargo, muestra un coeficiente de agrupamiento muy alto y está muy centralizada, características que no favorecen el aprendizaje. Esto se debe a que estudiantes de tres generaciones se juntaron en la asignatura y sus redes eran eficientes para cada grupo por separado. A partir de las características topológicas de la red de afinidad posterior y de la red de colaboración se constata que el grupo se reordenó agrupándose los estudiantes en una estructura que es más favorable para el aprendizaje. El ambiente de aprendizaje que se generó fue consistente con la creación de un colectivo como se desprende de las propiedades topológicas de la información recopilada.

La Tabla 3 muestra algunas características topológicas promedio obtenidas de la construcción de redes asociadas a la naturaleza del colectivo mediante grafos. Como se observa en la Tabla 3 la centralidad de intermediación promedio disminuye de 0,037 a 0,019 entre la característica de afinidad previa y de afinidad posterior, al igual que la centralidad de intermediación máxima que disminuye de 0,188 a 0,089. Esto significa que la propiedad centralidad de intermediación para la transmisión de información entre los nodos tiende a la homogeneización. Por otro lado se observa que la red de afinidad se contrae como se desprende de la Tabla 3, donde el diámetro, esto es, el número de enlaces necesarios para alcanzar desde un extremo al otro en la red, disminuye de tres a dos enlaces. Esto evidencia que se crea el colectivo con un vínculo que aumenta la intensidad de la afinidad, como se observa también en la Tabla 3, donde el grado promedio pasa de 7,579 a 12,105. En cuanto a la red de colaboración, observamos que esta red se expande notoriamente siendo su diámetro de 7 enlaces, en tanto que el grado promedio disminuyó a 4,474. Tanto la centralidad de intermediación promedio como la máxima incrementan su valor, esto indica que la red de colaboración se expandió notoriamente, está más diluida y tiene nodos más relevantes. La expansión se debió a que se formaron varios grupos trabajando en distintos tipos de autómatas.

En un análisis global de estos resultados podemos resumir que en el aspecto de la afinidad el grupo evolucionó de una estructura compuesta por tres comunidades a una con dos más densamente entrelazada y cercana, en tanto que en el aspecto de la colaboración para los aprendizajes, los mismos individuos conformaron una red de trabajo diluida en enlaces y extensa y homogénea, en concordancia con las características de una red de colaboración para el aprendizaje eficiente como establece la evidencia experimental presentada por Mason y Watts, 2012.

La naturaleza de lo descrito induce a pensar que, a la manera de los desarrollos tecnológicos, se puede afirmar que se transforma en una necesidad conocer las diversas formas de crear las condiciones para generar un ambiente de aprendizaje como el descrito. Poseer las competencias necesarias para usar esta tecnología de manera eficiente es urgente, dada su relevancia y potencial, en el proceso de formación docente. Como evidencia del trabajo colectivo y coordinación eficiente para el aprendizaje significativo, se reportó el uso de la ronda infantil (Sanzón et al., 1999), tanto en adultos como niños, para producir cambios en las costumbres sanitarias en poblaciones rurales en Colombia.

Tabla 3: Características topológicas promedio.

Red	Afinidad previa	Afinidad posterior	Colaboración
Enlaces	72	115	85
Diámetro	3	2	7
Longitud de camino medio	1,637	1,327	2,333
Grado promedio	7,579	12,105	4,474
Grado máximo	14	18	16
Centralidad de intermediación promedio	0,037	0,019	0,086
Centralidad de intermediación máxima	0,188	0,089	0,198
Coeficiente de agrupamiento medio	0,671	0,797	0,392
Coeficiente de agrupamiento máximo	0,396	1	0,750
Número de comunidades	3	2	2

## CONCLUSIONES

En este trabajo hemos presentado evidencia fiable de la existencia de fenómenos emergentes en un colectivo formado por 19 estudiantes de 4to año universitario de la Universidad de Concepción. Este hecho conduce inevitablemente a confirmar que bajo las condiciones descritas, un Aula puede manifestar comportamientos característicos de un sistema complejo, incluso con un número de individuos como los considerados en esta muestra.

Utilizando las técnicas de las redes complejas para describir redes sociológicas relacionamos sus características topológicas como colectivo con las capacidades de aprendizaje, encontramos evidencia de que el grupo se ordenó de forma espontánea para favorecer el aprendizaje.

Esta nueva estructura del colectivo, inducida tanto por los intereses y necesidades individuales al interior de éste así como también por las condicionantes externas condujo a un estado dinámico coherente y estable que indujo el auto aprendizaje de los individuos como un fenómeno emergente, propio de la dinámica sociológica compleja del colectivo.

También es necesario destacar que es de suprema importancia determinar los elementos que pueden inducir el comportamiento colectivo pro auto aprendizaje en el aula. En nuestro caso, en una asignatura de Ciencia y Tecnología, el interés por la robótica de enjambres condujo a comprender la naturaleza de los sistemas complejos y su aplicabilidad para la comprensión y conducción del aula a futuros pedagogos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de Física de La Facultad de Ciencias Físicas y Matemática y a la Dirección de Docencia de la Universidad de Concepción por su apoyo en la elaboración de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Albert, R., Barabási, A., Statistical mechanics of complex networks, Rev. Mod. Phys. 74, 47-97, (2002).
- Ay, N., Olbrich, E., Bertschinger, N., Jürgen, J., A geometric approach to complexity, Chaos, 21, 037103-1–037103-10, (2011).
- Bak, P., How Nature Works, Springer, New York, (1996).
- Bar-Yam, Y., Dynamics of Complex Systems, Studies in Nonlinearity. Westview Press. (2003).
- Brambilla, M., Ferrante, E., Birattari, M., Dorigo, M. Swarm robotics: a review from the swarm engineering perspective. Swarm Intelligence, 7(1), 1-41, (2013).
- Brandes, U., A Faster Algorithm for Betweenness Centrality, Journal of Mathematical Sociology 25(2), 163-177, (2001).



- Boccaletti, S., Latorab, V., Morenod, Y., Chavez, M., Hwang, D-U., Complex networks: Structure and dynamics, Physics Reports, 424, 175-308, (2006).
- Blondel, V.D., Guillaume, J-L., Lambiotte, R., Lefebvre, E. Fast unfolding of communities in large networks, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, doi: 10.1088/1742-5468/2008/10/P10008, (2008).
- Chakrabarti, B.K., Chakraborti, A., Chatterjee, A., Econophysics and sociophysics: trends and perspectives. John Wiley & Sons, (2007).
- Giomi, L., Hawley-Weld, N., Mahadevan, L., Swarming, swirling and stasis in sequestered bristle-bots", Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science, 469: 20120637, (2013).
- Lansing, J. Stephen., Complex Adaptive Systems, Annual Review of Anthropology, 32, 183-204, (2003).
- Latapy, M., Main-memory Triangle Computations for Very Large (Sparse (Power- Law)) Graphs, Theoretical Computer Science (TCS), 407 (1-3), 458-473, (2008).
- Mason, W., Watts, D.J. Collaborative learning in networks, Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(3), 764-769, (2012).
- Sanzón, F., Vela, J.C., Valencia, H.F., Montenegro, L., Una estrategia antiparasitaria original en Arboleda, Nariño, Colombia Médica, 30(3), 112-117, (1999).
- van Steen, M., An Introduction to Graph Theory and Complex Networks, Copyrighted material, (2010).
- Watts, D.J., Strogatz, S.H., Collective dynamics of 'small-world' networks, Nature, 393, 440-442, (1998).