

Análisis y monitoreo de la interacción en entornos colaborativos mediante el uso de análisis de redes sociales



FREYMAM ALEXIS VALLEJO CUERO
JORGE ELIECER ORTIZ ROMO

Monografía para optar al título de
Ingeniero de Sistemas

Director

PhD. Cesar Alberto Collazos
Universidad del Cauca (Colombia)

Codirectora

PhD(c). Natalia Padilla Zea
Universidad de Granada (España)

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Sistemas

Grupo IDIS – Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software
Línea de Investigación Ingeniería de la Colaboración e Ingeniería del Software
Popayán, Abril de 2010



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO I. BASE CONCEPTUAL	7
1.1. APRENDIZAJE COLABORATIVO Y CSCL.....	7
1.2. ANÁLISIS DE REDES SOCIALES	9
1.2.1. Conceptos y Métodos de SNA	11
1.2.2. SNA y CSCL.....	13
1.3. CONCEPTOS DE INDICADORES DE IA.....	15
1.3.1. Atributos de los indicadores de IA	16
CAPITULO II. DEFINICIÓN DE INDICADORES DE IA USANDO SNA.....	18
2.1. PROCESO DE SELECCIÓN DE INDICADORES.....	18
2.2. MODELOS DE APRENDIZAJE COLABORATIVO.....	19
2.2.1. El Modelo de las 3C's.....	20
Comunicación	21
Coordinación	21
Cooperación	23
2.2.2. Elementos considerados de las 3c's.....	23
Elementos de la comunicación.....	23
Elementos de la cooperación.....	24
Elementos de la coordinación.....	24
2.3. MODELO PROPUESTO	25
2.3.1. Los indicadores seleccionados y sus elementos a evaluar.....	27
2.3.2. Indicador "Respuestas".....	30
Definición Original.....	30
Redefinición del Indicador.....	31
2.3.3. Función de Actividad Colaborativa (CAF).....	34
Definición Original.....	34
Redefinición del Indicador.....	34
2.3.4. Factor de colaboración	37
Definición Original.....	37
Redefinición del Indicador.....	39
2.3.5. Coordinación.....	42
Definición Original.....	42
Redefinición del Indicador.....	44
CAPÍTULO III. PROTOTIPO SOFTWARE BASADO EN LOS INDICADORES PROPUESTOS MEDIANTE EL USO DE SNA	48
3.1. METODOLOGÍA DE DESARROLLO	48
3.2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	49
3.2.1. Exploración de librerías de código que implementen métodos de SNA o teoría de grafos y matrices.....	49
3.2.2. Desarrollo de un prototipo de código abierto y de alta accesibilidad para el ámbito académico investigativo	50
3.2.3. Independencia entre el prototipo propuesto y los entornos CSCL.....	51
Archivo log XML	51
Cargador a grafos y matrices.....	52
IASNA Core	52
El tablero de reflexión.....	54
Módulo de recomendaciones	55
CAPITULO IV. VALIDACIÓN DE LOS INDICADORES EN EL MARCO DE UNA ACTIVIDAD CSCL.....	56
4.1. TEAMQUEST.....	57



4.1.1.	La Mecánica de Juego	58
	El log de interacciones	59
4.1.2.	Indicadores escogidos para contrastar resultados frente a los indicadores de SNA propuestos 59	
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXPERIMENTACIÓN	62
4.2.1.	Análisis bitácoras de interacción y resultados de los indicadores	63
4.2.2.	Indicadores de Comunicación.....	64
	Respuestas	64
4.2.3.	Indicadores de Cooperación	65
	Función de actividad colaborativa	66
	Factor de colaboración.....	68
4.2.4.	Indicadores de Coordinación	69
	Coordinación	69
4.2.5.	Conclusiones para los análisis.....	70
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....		73
5.1.	CONCLUSIONES	73
5.2.	TRABAJO FUTURO.....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		76



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de un grafo dirigido valorado	11
Figura 2 Proceso de selección de indicadores	18
Figura 3 El modelo de las 3C's. Fuente: Fuks, Raposo et al. Traducido [30]	21
Figura 4 Indicadores identificados en las 3C's	29
Figura 5 Ejemplo mapeo de una actividad en un ambiente compartido de trabajo	35
Figura 6 Ejemplo de prestigio de proximidad	40
Figura 7 Indicador Factor de colaboración y sus métricas asociadas	42
Figura 8 Indicador Coordinación y sus métricas asociadas	47
Figura 9 Los cuatro indicadores a definir compartiendo seis distintos métodos de SNA.....	47
Figura 10 Librerías externas usadas por IASNA	50
Figura 11 Diagrama de interacción entre IASNA y los entornos de terceros.....	51
Figura 12 Diagrama de Interacciones para entornos CSCL, tomado de [41]	52
Figura 13 Diagrama de Clases sobre el cual se basa el formato de salida de los Indicadores	53
Figura 14 Uso de IASNA Core analizando por rango de fechas.....	54
Figura 15 Método de Validación de los indicadores.....	56
Figura 16 Interfaz Gráfica de TeamQuest.....	58
Figura 17 Ejemplo de archivo de registro de la bitácora de comunicación juego TeamQuest.....	59



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resultados parciales de valoración de expertos distinguiendo los 17 indicadores mejor valorados	26
Tabla 2 Indicadores seleccionados y elementos de la colaboración relacionados	27
Tabla 3 Los cuatro Indicadores escogidos	30
Tabla 4 Métricas originales y sustitutas del indicador Respuestas	33
Tabla 5 Métricas originales y sustitutas del indicador CAF	36
Tabla 6 Métricas originales y sustitutas del indicador CF.....	41
Tabla 7 Medidas según el tipo de mensajes en DEGREE.....	43
Tabla 8 Métricas originales y sustitutas del indicador Coordinación.....	46
Tabla 9 Características de los grupos estudiados	63
Tabla 10 Indicador Respuestas contra Aplicación de la Estrategia	64
Tabla 11 Indicador Función de Actividad Colaborativa contra Cooperación intragrupal y Revisión criterios de éxito.....	66
Tabla 12 Indicador Factor de colaboración contra Desempeño.....	68
Tabla 13 Indicador Coordinación contra Monitoreo	69



INTRODUCCIÓN

El aprendizaje colaborativo por sí mismo se constituye como un tema bastante complejo de estudio. La complejidad aumenta aún más al adicionar entornos computacionales y ambientes dispersos geográficamente, ya que aspectos como el grado de entendimiento mutuo (grounding) entre los participantes, la colaboración y el aprendizaje en sí mismos o los mecanismos de comunicación, entre otros, añaden aún más variables de alta complejidad a esta área de estudio [1]. CSCL¹ definido como un trabajo en conjunto basado en la sinergia de los participantes para alcanzar objetivos comunes de aprendizaje por medio del computador, es considerado particularmente como un proceso complejo de planificar y ejecutar [2] [1], debido a que involucra en sí mismo, distintas áreas del conocimiento, como la pedagogía, la informática, las comunicaciones, la sociología y la estadística, por mencionar algunas.

Cada vez son más las actividades en las que individuos o grupos geográficamente dispersos deben enfrentarse a objetivos comunes [3]. En este ámbito, el análisis y monitoreo del proceso de aprendizaje colaborativo toma gran importancia [4] [5], ya que se presenta como un mecanismo para identificar problemas y planear los ajustes necesarios para lograr el éxito de este tipo de actividades.

Debido a la complejidad presente en CSCL han surgido nuevas áreas de investigación que buscan integrar diversas ramas del conocimiento que aporten en la reducción de la complejidad y entreguen soluciones, tal es el caso del Análisis de Redes Sociales (SNA²), y el Análisis de las Interacciones (IA³).

Teniendo en cuenta las necesidades y aspectos mencionados en los párrafos anteriores, IA utilizando teoría de SNA, se constituye en una posible manera para afrontar el problema de monitoreo y evaluación del proceso de colaboración, mediante el estudio de las interacciones que toman lugar en actividades CSCL, esto en busca del mejoramiento de la colaboración que presentan los actores [4] [6] [7]; de esta forma se aportaría con un enfoque diferente de

¹ Del inglés Computer Supported Collaborative Learning

² Del inglés Social Network Analysis

³ Del inglés Interaction Analysis



evaluación de la colaboración, centrado principalmente en la evaluación del proceso colaborativo y llevado a cabo durante el mismo [5]. Este proyecto desarrolla entonces una propuesta de creación de un modelo basado en la definición de indicadores para evaluar el proceso de colaboración en entornos CSCL, utilizando métricas de SNA para el estudio de las interacciones. Se describe en detalle en los capítulos posteriores de la siguiente manera:

En el primer capítulo de este documento se presenta la base conceptual sobre la cual se sustenta el desarrollo y propuestas posteriores; los referentes teóricos tratados son, Aprendizaje Colaborativo, CSCL, SNA, Indicadores del Proceso de colaboración en entornos CSCL, entre otros.

En el segundo capítulo se describen uno a uno los elementos y proceso considerados para la selección y redefinición de un conjunto de indicadores para evaluar el proceso de colaboración en entornos CSCL, presentando al final los indicadores escogidos y la redefinición propuesta mediante el uso de SNA como fuente de las métricas asociadas.

En el tercer capítulo se describen las consideraciones de análisis, diseño e implementación del prototipo software, además de aspectos generales a tener en cuenta para su posterior utilización por aplicaciones de terceros.

En el cuarto capítulo se describen aspectos referentes a la herramienta y actividad colaborativa escogida para la validación de los indicadores, se presentan los análisis respectivos de los resultados obtenidos desde el prototipo software que ha sido construido en base a los indicadores propuestos en confrontación con análisis manuales de las bitácoras de comunicación de la herramienta y con otro conjunto de indicadores del proceso colaboración, los cuales también han sido aplicados sobre la misma actividad colaborativa.

En el quinto capítulo se presentan conclusiones de resultados obtenidos; además, se plantean algunas recomendaciones a tener en cuenta para futuros proyectos relacionados, y posibles áreas de trabajo que pudieran incrementar y fortalecer los temas y resultados tratados en el presente proyecto.



CAPITULO I. BASE CONCEPTUAL

En el proyecto abordado en este documento, se pretende integrar áreas de investigación que por sí solas involucran una importante base conceptual. Por esta razón, en este capítulo se incluye la teoría básica y conceptos que fueron necesarios para el desarrollo del proyecto. Teoría y conceptos relacionados con Aprendizaje Colaborativo, CSCL, SNA, IA e Indicadores son descritos en los apartados de este capítulo.

La justificación de la intención de relación de estas áreas de conocimiento es mencionada en los capítulos posteriores; pero, en términos generales la idea de la utilización de SNA para evaluar el proceso de colaboración en entornos CSCL, mediante el análisis de las interacciones surge de una observación evidente referente a que todo proceso colaborativo involucra inherentemente el aspecto social y por lo tanto interacciones sociales. Por esta razón y con el ánimo de proveer ambientes propicios para aplicar metodologías colaborativas [2], es que SNA es considerado para el estudio y procesamiento de la información capturada de las interacciones sociales.

A continuación se presentan aquellos conceptos que desde cada temática hacen su aporte en el proyecto planteado.

1.1. APRENDIZAJE COLABORATIVO Y CSCL

El aprendizaje colaborativo es una de muchas metodologías de aprendizaje existentes. Una definición simple puede ser: *"El 'aprendizaje colaborativo' es la situación en la cual dos o más personas aprenden o intentan aprender algo juntas"*. Aprender algo hace referencia a participar de un curso, estudiar una temática o resolver problemas, entre otras. Cuando se habla de "...aprender algo juntos", puede interpretarse como interacciones cara a cara, mediadas por computador sea de manera sincrónica o asincrónica, activamente, frecuente o no, o si es un esfuerzo conjunto o con las tareas divididas sistemáticamente. [8]

Algunos estudios han concluido que se obtienen distintos beneficios en la aplicación de técnicas de aprendizaje con ambientes colaborativos, principalmente cuando la temática o actividad permite ser subdividida. Algunos de los beneficios con respecto al aprendizaje individual son: [2]



- Construcción de habilidades cognitivas de alto nivel.
- Construcción de habilidades interpersonales como el conocimiento, verdadero trabajo en equipo, comunicación eficiente y clara, ayudar y desafiar a compañeros, y habilidades para resolver conflictos.
- Impacto positivo en los resultados.
- Mejores resultados en las post-pruebas que en los resultados de proceso individual.
- Sentimiento de éxito.
- Estudiantes más activos.
- Predisposición para ayudar a sus compañeros.
- Pensamiento de alto nivel para poder explicar a sus compañeros de forma clara.

Por otro lado, también se mencionan deficiencias o problemas a los cuales los actores de la actividad se enfrentan cuando se recurre al uso de actividades colaborativas: [9]

- Formación de grupos disfuncionales.
- Inhabilidad de los estudiantes en trabajar conjuntamente.
- Deficiencia en la democracia a la toma de decisiones por parte de los estudiantes.
- Temor del docente a perder el control de la clase.
- El docente no está preparado para estos procesos.
- Temor a no cubrir todo el contenido del curso.
- Falta de materiales aptos para este tipo de clases.
- Ego de los profesores.
- Profesores no familiarizados con las técnicas del proceso colaborativo.

El aprendizaje colaborativo según Kagan se rige básicamente en los 4 siguientes principios estructurales [10], denominados por el autor como los Principios PIES⁴:

- **Interacción simultánea:** todos los actores aportando al mismo tiempo y positivamente.

⁴ Por las iniciales de los nombres en inglés: Positive interdependence, Individual accountability, Equal participation and Simultaneous interaction.



- **Igual participación:** en lo posible que nadie haga más ni menos que los demás.
- **Interdependencia positiva:** conciencia colaborativa de proveer ayuda a los demás porque el resultado es para todos.
- **Responsabilidad individual:** al final el aprendizaje es individual.

Estos cuatro conceptos deben estar presentes en las actividades colaborativas para ser catalogadas como tal y se obtengan resultados positivos; además es fundamental para el éxito de actividades colaborativas, que los actores conozcan y desarrollen habilidades básicas de colaboración originadas en los principios estructurales. No se debe suponer que los aprendices saben cómo colaborar y el tutor o moderador debe jugar un papel de monitor y regulador de las interacciones y del cumplimiento de los **principios estructurales del aprendizaje colaborativo** [2].

CSCL, aunque es una disciplina ampliamente investigada y respaldada por la comunidad científica, aún enfrenta algunos problemas que no están completamente resueltos; desarrolladores, investigadores y docentes están tratando de contribuir a resolver algunos de estos problemas y buscando superar los desafíos que aparecen en el diseño e implementación de este tipo de entornos [11] [3]. En la bibliografía de esta área se hace referencia a que en ocasiones la evaluación de la colaboración se ve enfocada principalmente en la medición de la calidad del producto final de la actividad colaborativa [2]. Sin embargo, se ha comenzado a investigar la evaluación y monitoreo del proceso que se lleva a cabo durante el desarrollo de la actividad colaborativa estudiando la evaluación, análisis y monitoreo de las interacciones, con el fin de detectar patrones de comportamiento poco productivos y actuar en consecuencia para obtener los mejores resultados posibles actuando aún durante el desarrollo de la misma, ofreciendo información del proceso colaborativo y las interacciones [12] [2] [7], que permitan tomar las medidas adecuadas en función de conseguir los resultados esperados. Una forma de evaluar el proceso de colaboración de manera que se pueda identificar situaciones poco productivas o de bajo rendimiento es el uso de indicadores y métricas que monitoreen la actuación del grupo y analicen las dinámicas internas que lo caracterizan.

1.2. ANÁLISIS DE REDES SOCIALES

SNA comprende un conjunto de técnicas de análisis para el estudio formal de las relaciones entre actores y para analizar las estructuras sociales que surgen de la recurrencia de esas relaciones o de



la ocurrencia de determinados eventos. Pretende analizar las formas en que individuos u organizaciones se conectan o están vinculados, con el objetivo de determinar la estructura general de la red, sus grupos y la posición de los individuos u organizaciones singulares en la misma.

Los datos de una red social pueden representarse en una matriz cuadrada denominada *sociomatrix*, donde filas y columnas son el mismo conjunto de casos, sujeto y observaciones. Cada celda de la matriz define la relación entre los casos, sujetos y observaciones (actores) [13]. El otro tipo de representación es por medio de grafos y las mediciones aprovechan los conceptos matemáticos de grafos y matrices, que pueden ser programados y calculados utilizando procesamiento computacional que permita descubrir y describir patrones de relaciones sociales más eficientemente [13] e incluso predecir comportamientos del grupo social estudiado [14].

El análisis de la red se centra en las relaciones entre los actores, no en los actores individuales y sus atributos. Cuando se recogen los datos de una red se seleccionan los tipos de relaciones que serán medidos de entre el conjunto de relaciones posibles.

Para este proyecto las interacciones estudiadas son representadas *mediante grafos dirigidos valorados (Dígrafos) y su equivalente representación matricial*, porque los métodos de SNA que brindan más información de las interacciones, surgen de esta representación en comparación con otras más simples como aquellas que ignoran la dirección y valoración de la relación (grafos binarios) y otras. Los dígrafos permiten tener en cuenta información como los actores que inician la relación y hacia quien va dirigida, además de una valoración de la misma, los actores son representados en el dígrafo como nodos etiquetados con algún texto, y las relaciones entre ellos, mediante arcos que llevan una dirección desde el origen al destino, etiquetados con un número que representa la intensidad o cantidad en la relación. Como ejemplo ver la Figura 1, con un total de 7 actores y 8 vínculos.

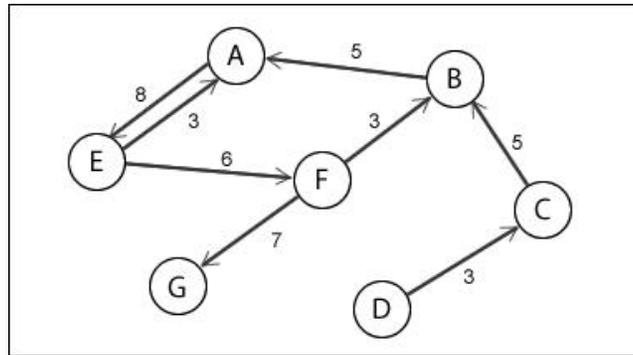


Figura 1 Ejemplo de un grafo dirigido valorado

Se describen a continuación un conjunto de métodos de SNA basados en grafos valorados dirigidos que serán referenciados por los indicadores que se definen en este trabajo.

1.2.1. Conceptos y Métodos de SNA

A continuación se presenta en detalle los conceptos y métodos de SNA que fueron necesarios para la redefinición de los indicadores propuestos, de manera que en el capítulo siguiente sean mencionados sin tener que entrar a describirlos. La razón de su elección es explicada en la sección 2 junto con la redefinición de cada indicador y otros conceptos y métodos estudiados pueden encontrarse en el Anexo G.

- **Prestigio de grado P_D :**

La idea detrás de este índice es que son los actores prestigiosos los que tienden a recibir muchas nominaciones o relaciones de otros actores. Esta medida es equivalente al indegree $d_I(n_i)$ que cuenta el número de arcos incidentes para cualquier nodo n_i . Como se ve en la fórmula (1) donde x_{+i} es la suma de todas relaciones que recibe el actor i desde los demás.

$$P_D(n_i) = d_I(n_i) = x_{+i} \quad (1)$$

Se denomina “indegree relativo” como la proporción de actores que “escogen” al actor i y se define como según la fórmula (2) donde g representa la cantidad de nodos en la red o grafo.

$$P'_D(n_i) = \frac{d_I(n_i)}{g - 1} \quad (2)$$

Cuanto mayor sea el valor de este índice, mayor es el prestigio del actor. El máximo valor es $P'_D(n_i) = 1$, que corresponde al caso en el cual el actor es escogido por todos los otros actores.



- **Prestigio de status o ranking P_R :**

Este índice mide el prestigio de los actores teniendo en cuenta tanto las relaciones a un actor específico como la prominencia de los actores que originan las relaciones hacia éste actor, de manera que su ranking dependa también del ranking de aquellos que están generando relaciones hacia él.

Si la columna i -ésima de la sociomatrix contiene información sobre los actores que “escogieron” a n_i , el Prestigio de Status se obtiene como la combinación lineal de los valores de dicha columna y los rankings de los otros actores, tal como se indica en la ecuación (3).

$$P_R(n_i) = x_{1i}P_R(n_1) + x_{2i}P_R(n_2) + \dots + x_{gi}P_R(n_g) \quad (3)$$

De esta forma se obtiene un sistema de g ecuaciones lineales con g incógnitas, donde g es la cantidad de nodos en el grafo. Después de aplicar ciertas propiedades de matrices se obtiene el eigenvector (vector propio) P_1 el cual contiene los índices de prestigio de ranking.

$$P_1 = (P_R(n_1), P_R(n_2), \dots, P_R(n_g))' \quad (4)$$

- **Centralidad de grado C_D :**

Calcula la proporción de actores que son adyacentes al actor objeto de estudio, considerando las relaciones que dicho actor inicia o el número de arcos incidentes desde el actor lo cual es denominado *outdegree*. Se define según la fórmula (5).

$$C_D = \frac{\sum_{i=1}^g [C_D(n^*) - C_D(n_i)]}{[(g-1)^2(g-2)]} \quad (5)$$

Donde:

$C_D(n_i)$: es el outdegree del nodo n_i

$C_D(n^*)$: es el mayor outdegree observado.

- **Prestigio de Proximidad P_P :**

Define el prestigio del nodo en función de las relaciones existentes con sus vecinos más próximos, de tal forma que comunicaciones con vecinos más cercanos tendrán más importancia que comunicaciones con vecinos más lejanos. Ver ecuación (6).



$$P_p(n_i) = \frac{I_i / (g - 1)}{\sum d(n_j, n_i) / I_i} \quad (6)$$

Donde I_i es la cantidad de nodos que pueden alcanzar al nodo i , g es la cantidad de nodos en la red y $d(n_j, n_i)$ es la distancia en vínculos que hay de un nodo j al nodo i . Su equivalente medida a nivel de red se calcula según lo expresado en la ecuación (7):

$$\overline{P_p} = \sum_{i=1}^g \frac{(P_p(n_i))}{g} \quad (7)$$

- **Densidad Δ :**

Mide el promedio de fuerza de los arcos en base a los pesos que se asignaron a cada relación según se observa en la fórmula (8).

$$\Delta = \sum \frac{v_k}{g(g - 1)} \quad (8)$$

v_k se calcula como el valor medio de los valores de los arcos.

- **Conectividad del dígrafo:**

La conectividad de un dígrafo puede ser definida en términos de la accesibilidad de cada par de nodos en el dígrafo de la siguiente manera:

- *“Débilmente conectado”*: Todos los pares de nodos están conectados por caminos o semicaminos sin distinción de la dirección del arco.
- *“Unilateralmente conectado”*: Todos los pares de nodos están conectados con caminos de un solo sentido.
- *“Fuertemente conectado”*: Existe camino para todo par de nodos tanto de un nodo inicial al nodo final, como del nodo final al inicial.
- *“Recursivamente conectado”*: Todos los pares de nodos están “fuertemente conectados” y además el camino desde un nodo inicial a uno final pasa por los mismos nodos y arcos que el camino reverso.

1.2.2. SNA y CSCL

Como ya ha sido mencionado, una red social modela las relaciones que se establecen entre un conjunto de actores. Estas relaciones, pueden ser tanto en función de las comunicaciones que se producen entre los actores como en función de las interacciones entre los actores y algunos



elementos del entorno de aprendizaje. Análisis de este tipo han sido llevados a cabo sobre herramientas colaborativas por actores como:

Nurmela et al. [15] utilizan la herramienta WorkMates 4 para soportar la actividad colaborativa de estudio. Los ficheros de log provistos por esta herramienta son utilizados para la generación de grafos y utilizan métodos como la cohesión, que se refiere a la amplitud de la interacción directa entre individuos en el entorno de aprendizaje; el método centralidad lo usan para encontrar el actor más visible, notable y admirable del grupo y la medida de Stephenson's and Zale's para mostrar cómo de lejos está situado un actor del actor central, medido en número de enlaces entre actores.

Aviv et al. [14] también han utilizado SNA para el estudio de las interacciones durante los procesos colaborativos. En este caso, han estudiado la cohesión que existe cuando se utiliza un foro estructurado y otro no estructurado.

Por su parte, Welser et al. [16] han utilizado el análisis de redes sociales para estudiar de forma gráfica los patrones de comportamiento de determinados roles, utilizando para ello los sociogramas y contrastándolo con otros tipos de gráficas. Como contrapartida, el trabajo realizado por Sha et al. [17] en Canadá se centra en obtener resultados a partir de los datos numéricos que se obtienen al operar con la matriz de datos de interacción entre actores. Este estudio analiza la interacción de los estudiantes con la base de datos Knowledge Forum (KF) utilizando para ello parte de la información obtenida de la herramienta Analytic Toolkit (número de notas creadas, porcentaje de notas enlazadas a otras notas, porcentaje de notas que tienen palabras clave y porcentaje de notas en la base de datos que un estudiante ha leído de otro estudiante) y las medidas de indegree, outdegree y centralidad del Análisis de Redes Sociales.

En España, destaca el trabajo realizado por investigadores de la Universidad de Valladolid [18] [19], quienes han desarrollado un método mixto de evaluación de las interacciones que se producen durante los procesos de aprendizaje colaborativo.

Para apoyar la utilización de este método y con objeto de integrar los distintos tipos de datos que forman la entrada del análisis de redes en un sistema, Martínez et al. [20] desarrollan la



herramienta SAMSA (System for Adjacency Matrix and Sociogram-based Analysis) que permite al evaluador seleccionar y configurar la red que quiere estudiar en cada caso. Una vez configurado este aspecto, SAMSA tiene en consideración los datos procedentes de las interacciones recogidas por el sistema CSCL, las interacciones cara a cara recogidas por el observador y las respuestas de los alumnos a los cuestionarios y las transforma adecuadamente para realizar el análisis. SAMSA produce tres resultados: las medidas elegidas por el evaluador, una representación gráfica de la red, en forma de sociograma y un fichero en formato DL (Data Language) aceptado por UCINET [21], herramienta más comúnmente utilizada para el análisis de redes sociales.

En general, se encuentra un número significativo de investigaciones en torno a SNA como soporte de análisis para herramientas CSCL. Sin embargo, el uso de SNA se ha limitado principalmente a la aplicación de algunos métodos para analizar ciertas interacciones en entornos CSCL y en los pocos casos donde se relacionan métricas de SNA con indicadores de colaboración, los indicadores propuestos son del tipo simple o aquellos que no relacionan diferentes medidas. Tampoco se observan métodos orientados a evaluar las características más importantes de los procesos de actividades colaborativas, es decir, que hagan parte de un conjunto básico de indicadores para evaluar los aspectos más relevantes del proceso colaborativo.

Otro inconveniente observado es la falta de continuidad de los proyectos y la poca disponibilidad o accesibilidad a las herramientas desarrolladas en las investigaciones. Esta revisión preliminar también permite tener en cuenta tanto los resultados positivos que se han obtenido en este campo de investigación, como falencias e inconvenientes que al final constituyen una valiosa fuente de información como base para el planteamiento de los indicadores y prototipo aquí propuesto.

1.3. CONCEPTOS DE INDICADORES DE IA

En CSCL, los actores interactúan con un entorno virtual de aprendizaje ya sea en solitario o en forma colaborativa. De esta interacción se pueden recoger dos tipos de datos diferentes [22]:

- Datos del producto final o de instancias intermedias del producto.
- Datos de acciones, registradas en el log (archivo de registro) del ambiente de aprendizaje.



Para este proyecto se considera el segundo tipo de datos, el cual constituye la fuente de información de interacciones a ser obtenida por los indicadores propuestos; para el planteamiento de los indicadores se hace necesario conocer los atributos que los indicadores a proponer deben tener para una completa y correcta definición.

1.3.1. Atributos de los indicadores de IA

En [22] se distinguen las siguientes características que debe tener un indicador de IA:

- **Concepto del indicador:** es tomado como el nombre para el indicador, que finalmente se refiere al aspecto de interacción que éste representa. (Ej. división de labor, intensidad de colaboración, grado de participación,...).
- **Propósito de indicador:** el propósito puede ser descrito cognitiva, social o incluso afectivamente. Está relacionado con el concepto del indicador y la posible explotación o utilidad que se tenga destinado para este indicador.
- **Valor del indicador:** es el valor que toma el indicador sea calibrado o interpretado.
- **Campo de validez:** hace referencia a las características del ambiente de aprendizaje o contexto en el cual es válido. Para definirlo se debe tener en cuenta:
 - El tipo de entorno de aprendizaje.
 - El contenido de la actividad.
 - El perfil de aprendizaje de los participantes.
 - Los usuarios proyectados.
- **Participantes del entorno CSCL:** uno o muchos estudiantes, docentes o comunidades de aprendizaje.
- **Usuarios proyectados para el Indicador:** cada indicador puede ser creado dependiendo del usuario que le interese los resultados, asignándole un valor distinto dependiendo del rol que el usuario tenga en la actividad.
- **Tiempo de uso del indicador:**
 - Uso On-Line de indicador de IA: cuando los participantes pueden observar y explotar la información provista por el valor del indicador, durante la interacción con el ambiente de aprendizaje (ej. indicadores que soporten "workspace awareness").
 - Uso Post-Hoc: el usuario tiene a su disposición la salida del indicador después del final de la sesión de interacción.



- **Dependencia:** El indicador puede ser dependiente o independiente de variables externas relacionadas al tiempo o al contenido. Hay dos categorías generales de indicadores:
 - Dependientes del tiempo: si describen aspectos que evolucionan durante el proceso de la interacción. Ejemplo: tasa de participación, nivel de interacción, actividad de los actores, actividad de un tema de discusión, etc. A menudo se presentan como gráficos de un valor contra el tiempo, y se registran por intervalos de tiempo.
 - Independiente al tiempo: si describe aspectos globales del producto final o del proceso completo, que son procesados al final de la sesión de interacción. Buscan valorar la calidad del proceso o la calidad de la interacción o del producto de la colaboración. Tener en cuenta que al final estos indicadores se calcularán para un periodo de tiempo o varios periodos de tiempo, permitiendo comparaciones en la medida.
- **Ambiente de aprendizaje:**
 - Ambientes de uso individual.
 - Ambientes colaborativos, que demanden interacción síncrona.
 - Ambientes colaborativos orientados a la producción de texto, que usualmente demanden interacción asincrónica.

Las características más importantes que se deben estudiar para plantear indicadores son: ¿a qué perfil de usuario va dirigido?, ¿qué tipo de entradas recibe?, ¿cuál es el estado o poder de las salidas?, y ¿cuál es el límite de validez?



CAPITULO II. DEFINICIÓN DE INDICADORES DE IA USANDO SNA

En este capítulo se describe el proceso seguido, consideraciones y los resultados obtenidos en la selección de un conjunto de indicadores para la evaluación y monitoreo del proceso de colaboración en entornos CSCL. A continuación se describe el método seguido para la selección de los indicadores y se presentan los resultados de una revisión bibliográfica de indicadores existentes y de los distintos modelos dimensionales o de caracterización del aprendizaje colaborativo. También se mencionan las razones de la elección del modelo de las 3C's como base para la definición de los indicadores y se muestran los elementos más importantes que se identificaron en cada una de las 3C's. Finalmente se presentan los indicadores escogidos.

2.1. PROCESO DE SELECCIÓN DE INDICADORES

Se definió y siguió el proceso mostrado en la Figura 2, para la definición e implementación de los indicadores, considerando la metodología general escogida como guía para el desarrollo del proyecto, llamada Sistema de Marco Lógico y donde las etapas 1 a 3 corresponden a la fase de diseño y las etapas 4 a 6 a la fase de ejecución:

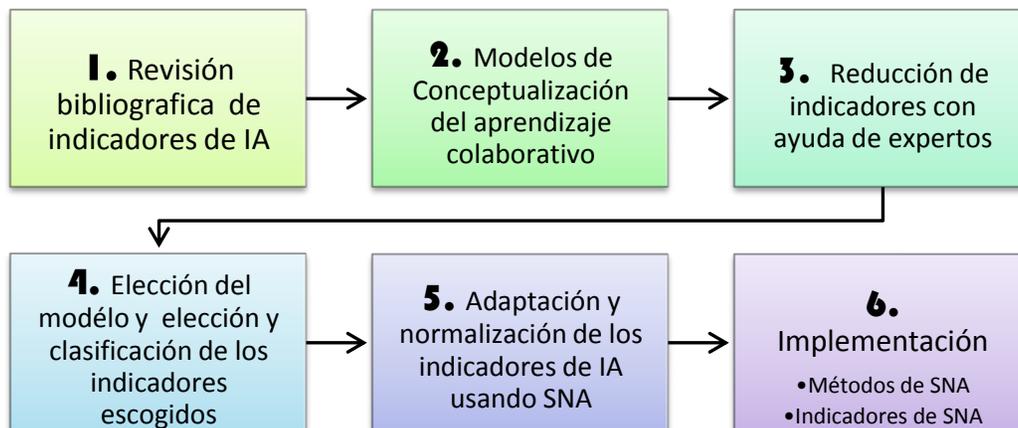


Figura 2 Proceso de selección de indicadores

En la etapa 1 se hizo una amplia revisión bibliográfica de los trabajos relacionados con el planteamiento de indicadores, con el propósito de aprovechar trabajos previos de investigación en esta área y se recopiló en una lista (Anexo A), un grupo bastante significativo de indicadores junto



con información relacionada como concepto, métricas asociadas, entre otros.

En la etapa 2, desarrollada en paralelo a la etapa 1, se estudiaron diferentes modelos de conceptualización del aprendizaje colaborativo con el propósito de ser utilizados para enmarcar los indicadores finalmente seleccionados, de manera que se escoja un grupo de indicadores que cubran los aspectos más importantes resaltados por el modelo escogido.

En la etapa 3 se somete a valoración cualitativa y cuantitativa por parte de investigadores expertos en el área, los indicadores recolectados en la etapa 1, de manera que se pudiera obtener una lista reducida de estos, teniendo en cuenta su importancia en la evaluación y monitoreo del proceso de colaboración.

En la etapa 4 se elige el modelo de conceptualización del aprendizaje colaborativo, y desde la lista obtenida en la etapa 3 se procede a la elección de 4 indicadores considerando la viabilidad de redefinición de las métricas, la posibilidad de representación de la situación considerada por el indicador a una representación por medio de grafos y la existencia de medidas cualitativas en los indicadores originales que no pudiera asociarse a medidas equivalentes desde SNA; estos indicadores son clasificados considerando los elementos de cada una de las dimensiones del modelo sobre los cuales el indicador hace más énfasis. Esta etapa se define con la intención de seleccionar finalmente un grupo de indicadores que cubran los aspectos más importantes del proceso de aprendizaje colaborativo desde la perspectiva del modelo seleccionado.

En la etapa 5 se procede a la adaptación de los indicadores y finalmente en la etapa 6 se procede a la implementación tanto de las métricas de SNA como de los indicadores.

2.2. MODELOS DE APRENDIZAJE COLABORATIVO

En la bibliografía se encuentran distintas propuestas de modelado dimensional o de caracterización del proceso de aprendizaje colaborativo (Anexo C y D). Collazos et al. en [23] basan la caracterización en los principios básicos de la actividad colaborativa como lo son la interdependencia positiva, responsabilidad individual, interacción simultánea, habilidades cognitivas e interpersonales, evaluación y reflexión, y actividades de extensión. Por otro lado, hay



quienes proponen la medición de aspectos basados en las fases que componen el proceso colaborativo, tanto las actividades de preparación como las de finalización y las referentes a la construcción del conocimiento como tal [2], [24]. Igualmente, algunos autores proponen la combinación de dimensiones de distintos modelos de evaluación en la calidad de la colaboración; valorando aspectos de la comunicación, coordinación, procesamiento conjunto de la información, relación interpersonal y motivación, vinculando a cada uno indicadores y métricas [25], [26]. Sin embargo, varios de estos modelos encontrados en la literatura son modificaciones o extensiones del modelo de las 3C's [27], el cual cubre de manera general los aspectos más importantes del aprendizaje colaborativo y enfoca los mecanismos de interacción en el proceso de colaboración. En este trabajo se selecciona este modelo como base para la definición de los indicadores de evaluación y monitoreo del proceso de colaboración, considerando como criterios de selección frente a otros modelos: el número reducido de mecanismos de interacción o dimensiones en que divide el aprendizaje colaborativo, su enfoque sobre el desarrollo de la actividad colaborativa, su importancia basada en su simplicidad y vigencia aún sostenida después de varios años de trabajo investigativo. A continuación se explica dicho modelo.

2.2.1. El Modelo de las 3C's

El modelo de las 3C's propone que el aprendizaje colaborativo soportado por computador puede ser sustentado en 3 mecanismos de interacción: comunicación, colaboración y coordinación [27]. La actividad en cada uno de ellos en un ambiente Groupware compartido se ve reflejada por los mecanismos de Awareness, cuya utilidad es hacer conscientes a los participantes de los cambios en el entorno de trabajo [28]. Los mecanismos de Awareness muestran información referente a: 1) lo social, como roles asumidos e interacciones; 2) las tareas, con información sobre las herramientas que se usaron para realizarlas, el tiempo empleado o lo que falta para completarlas; 3) la noción dinámica del tema tratado en la actividad, incluyendo información como qué más se necesita saber o qué se necesita corregir a la luz de un nuevo conocimiento; 4) el espacio de trabajo, como información de localización de los compañeros en el entorno, qué hacen o qué ya han hecho; 5) el conocimiento, comprendiendo información sobre qué se está discutiendo, qué se ha creado de nuevo, o quiénes están discutiendo un tema dado [29]. De esta forma, los mecanismos de Awareness cumplen el rol de mediador sobre la comunicación, coordinación y la cooperación entre los participantes (ver Figura 3), permitiéndoles direccionar sus acciones y

anticiparse a futuros requerimientos.

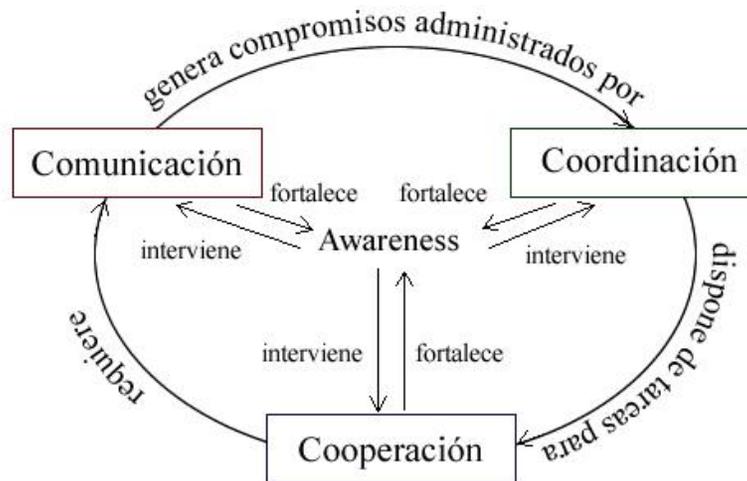


Figura 3 El modelo de las 3C's. Fuente: Fuks, Raposo et al. Traducido [30]

Comunicación

Esta dimensión considera el intercambio de información que se realiza entre los participantes de la actividad colaborativa con el objetivo de definir y negociar compromisos, así como de facilitar las tareas de cooperación. Dicha comunicación puede realizarse por medio de cualquiera de los mecanismos que el ambiente computacional ofrezca [28], siempre que se produzca un entendimiento mutuo entre los participantes en dicha interacción. Los espacios en los que produce esta comunicación se conocen como espacios de argumentación [31] y en el entorno CSCL pueden presentarse en forma de salones de conferencias, chats, foros, blogs, etc.

Debido a la variedad de estos espacios, los indicadores de comunicación deben estar enfocados a evaluar y monitorear la actividad independientemente de la naturaleza del medio en que se produzca, ya sea síncrona o asíncrona. Además, elementos como el log o bitácoras de argumentación de los entornos CSCL constituiría una parte fundamental a monitorear por los indicadores escogidos.

Coordinación

La coordinación actúa como un conector entre la comunicación y la cooperación, que intenta mejorar la eficiencia de cada una de ellas. Se busca representar un sistema que brinde flexibilidad sin perder regulación, intentando así fortalecer el éxito en la colaboración [30]. Se entiende que



hay éxito en la colaboración cuando se da la consecución de un objetivo común a través de la coordinación de los participantes, recursos y tareas. La coordinación busca ayudar a definir las tareas y sus interdependencias, articular el trabajo de los participantes de una manera organizada, enfatizar en el aprendizaje colaborativo no jerarquizado y en el enfoque de los objetivos de aprendizaje [28].

Las actividades de coordinación se pueden clasificar en función de la fase en la que se encuentre el proceso colaborativo:

- *Pre-articulación*: Son tareas de coordinación que ocurren antes que se den las actividades colaborativas, es decir, para preparar la colaboración. Normalmente termina antes de iniciar dicho proceso. En esta fase se definen tareas como la identificación de los objetivos, el mapeo de los objetivos en tareas, la selección de participantes o distribución de las tareas, entre otras.
- *Post-articulación*: Es la coordinación que se da después de las actividades colaborativas. Involucra la evaluación y el análisis de las tareas que fueron realizadas y la documentación del proceso colaborativo.
- *Gestión*: Es la coordinación que se presenta durante las actividades colaborativas. Son actividades dinámicas que deben ser renegociadas a medida que toma lugar el proceso de aprendizaje colaborativo. Básicamente, se gestionan las interdependencias entre las tareas realizadas para alcanzar el objetivo conjunto [28], [30].

Las actividades de coordinación también pueden ser clasificadas a nivel temporal o de objeto. A *nivel temporal* su intención es propiciar el adecuado orden secuencial entre las tareas que conforman una actividad. A *nivel de objeto* define cómo manejar el acceso secuencial o simultáneo de múltiples participantes en un mismo conjunto de objetos compartidos [28], [30].

También se pueden clasificar las actividades de coordinación según el nivel de integración de las tareas que intervienen. Cuando se trata de actividades *débilmente integradas* (loosely integrated), la coordinación no es evidente porque los actores se encargan de ésta de forma implícita a través del protocolo social en actividades de diálogo en chat, audio y videoconferencias, entre otras. Cuando se trata de actividades *fuertemente integradas* (tightly integrated), que por su naturaleza son altamente interdependientes, se hacen necesarios mecanismos sofisticados de coordinación



que permitan disminuir el nivel de complejidad que estas presentan [28], [30].

Cooperación

La cooperación es una operación conjunta dentro de un ambiente de trabajo compartido en busca de un entendimiento mutuo, que se compone de un conjunto de actividades que se ven fortalecidas por los procesos de comunicación y coordinación [28], [30]. Como parte de una actividad colaborativa, los involucrados trabajan colectivamente para producir, manipular y organizar información, construir y refinar los objetos de cooperación, que pueden ser documentos, hojas de cálculo, gráficos, etc. El conocimiento formal obtenido en estas sesiones de trabajo es almacenado, catalogado, categorizado y estructurado en objetos de cooperación; el conocimiento informal producido es difícil de percibir y capturar y además es de baja importancia en el resultado final [28]. Hacen parte del conocimiento informal las ideas, los hechos, las preguntas, los puntos de vista, las conversaciones, las discusiones, las decisiones, etc.

La producción de objetos de cooperación depende de cómo está estructurado el espacio de trabajo compartido para visualizarlos junto con las interacciones que allí toman lugar. En este sentido, los mecanismos de Awareness realizan un aporte importante para mostrar los cambios realizados en la construcción del conocimiento y hacer conscientes a los participantes dichos cambios. La virtud de estos mecanismos está en permitir una experiencia similar a la de las reuniones cara a cara; se busca que la percepción de los estímulos sensoriales que normalmente se presentan, se obtengan de forma virtual. El objetivo principal del uso de Awareness es que los participantes puedan anticipar las acciones y sus respectivos requerimientos e incluso reaccionar positivamente ante diferentes estímulos [30].

2.2.2. Elementos considerados de las 3c's

A continuación se presentan los elementos más importantes que se han considerado en cada una de las dimensiones del modelo de las 3C's. A partir de estos elementos se pretende encontrar las mediciones más favorables para evaluar el proceso de colaboración en entornos CSCL.

Elementos de la comunicación

- *Nivel de participación*: intercambio de información como base de la comunicación.



- *Comunicación eficiente*: comprensión del mensaje por parte del receptor garantizando la efectividad de la comunicación.
- *Argumentación*: riqueza del dialogo entre los comunicantes.
- *Adquisición de compromiso de comportamiento*: identificación de negociación de compromisos y responsabilidades durante la comunicación.
- *Comportamiento interpersonal*: conversaciones fuera de contexto.

Elementos de la cooperación

- *Efectividad de la cooperación*: basado en el desempeño grupal.
- *Intercambio de información en función del trabajo*: cómo se manejan los objetos compartidos.
- *Responsabilidad de cada actor*: participación y desempeño individual.
- *Las interacciones entre los actores, las tareas y los objetos*: grado de intervención del actor en un objeto dependiendo de la tarea realizada.
- *Construcción de la base del conocimiento*: alcanzar el objetivo conjunto.
- *Toma de decisiones*: eficiencia en la toma de decisiones y en la llegada a consensos.
- *Combinación de la información*: estudio de conflictos presentados en torno a esto y de objetos desechados al combinar los trabajos individuales.
- *Manejo de conflictos*.
- *Simetría de las relaciones en las interacciones colaborativas fundamentales*: igualdad en las contribuciones para la resolución de problemas y la toma de decisiones.

Elementos de la coordinación

- *Coordinación del proceso de comunicación*: definición de un orden de intervención.
- *Coordinación del contenido de la comunicación*: flujo temático en la comunicación.
- *Integración y ajuste del trabajo individual para conseguir el objetivo común*: negociación de cambios e incorporaciones a los objetos; facilidad en la negociación.
- *Gestionar las dependencias entre actividades para la consecución de un objetivo*: cambios en la secuencia de las actividades programadas.
- *Planificación y sincronización*: desfase en la planificación de los tiempos en las actividades y estrategia seleccionada.
- *Identificar dependencias entre actividades y su organización en tareas*: división de la tarea.
- *Distribución y delegación de responsabilidades según la naturaleza de las tareas, así como los*



recursos y las áreas de experticia de cada individuo.

- *Administración del tiempo:* cómo hacen frente a las restricciones de tiempo, grado de elaboración del cronograma.
- *Coordinación técnica:* cómo hacen frente a las interdependencias técnicas y creación de reglas para la asignación de recursos: simetría en la asignación de recursos computacionales o aquellos objetos de la colaboración.

2.3. MODELO PROPUESTO

A partir de la revisión bibliográfica, se estudiaron un conjunto de 66 indicadores que diversos autores han propuesto para la evaluación del proceso colaborativo, buscando cubrir un amplio espectro de investigaciones previas para recolectar una cantidad considerable de indicadores sobre los cuales basar la selección final de un conjunto reducido de ellos. Se consultaron autores como Ditracopoulou et al. [22], se identificaron indicadores ya implementados en aplicativos software como Synergo [32], DEGREE [12] y DIAS [33] [34]; e igualmente indicadores propuestos por autores como Collazos [2], Fesakis et al. [35] y Gassner et al. [36]. El compendio de todos estos indicadores fue clasificado inicialmente en siete conceptos, donde las asignaciones a las tres primeras clasificaciones son propuestas en este proyecto y las otras cuatro fueron tomadas de [22]:

1. Indicadores de coordinación.
2. Indicadores de comunicación.
3. Indicadores de cooperación.
4. Indicadores elaborados que evalúan el proceso de colaboración.
5. Indicadores elaborados relacionados con la calidad de la colaboración.
6. Indicadores relacionados con las acciones.
7. Indicadores relacionados con el contenido.

Asesorados por un conjunto de expertos en el área, se realizó una selección de estos indicadores utilizando el siguiente proceso de valoración: se pidió a los expertos que calificaran y comentaran cada uno de estos indicadores, dependiendo del grado de importancia y relevancia de éstos para el análisis y monitoreo de la colaboración en entornos colaborativos. De esta forma la lista de los indicadores fue reducida.



Cada evaluador experto recibió la lista de indicadores y sus respectivas descripciones y entregó una valoración basada en su juicio de experto en el área; la valoración por indicador debería ser dada en un rango de 1 a 5; 1 expresa la menor valoración y 5 la mayor.

Paralelo al trabajo de reducción de los indicadores con base en el juicio de expertos en el área se realizó la elección del modelo a utilizar para definir el conjunto de indicadores; se seleccionó el modelo de las 3C's basado en los criterios antes mencionados. Considerando la valoración obtenida se trabajó con un conjunto de 17 indicadores resaltados en la Tabla 1, tomados según una valoración mayor o igual al 75%; es decir aquellos que obtuvieran una valoración mayor o igual a 3,75. Este porcentaje fue tomado de una forma arbitraria con el fin abarcar los indicadores más significados en nuestro propósito.

Tabla 1 Resultados parciales de valoración de expertos distinguiendo los 17 indicadores mejor valorados

	Indicador	Calificación promedio Escala de 1 a 5
1	Aplicación de estrategia	4,60
2	Respuesta de SNA	4,40
3	Función de Actividad Colaborativa (CAF)	4,40
4	Grado de centralidad del actor (SNA)	4,40
5	División de la labor	4,20
6	Coordinación	4,00
7	Lecturas de SNA	4,00
8	Usuario - Estructura de árbol	4,00
9	Factor de colaboración (CF)	4,00
10	Revisión de criterios de éxito	4,00
11	Balance de acción y conversación	4,00
12	Iniciativa	4,00
13	Contribución del agente seleccionado (SAC)	4,00
14	Nivel de actividad	3,80
15	Factor de Historia (HF)	3,80
16	Cooperación	3,80
17	Monitoreo	3,80
18	Ítems creados ó borrados por participante, IOP (LTEE)	3,60
19	Cooperación intragrupal	3,60
20	Desempeño	3,60
21	Densidad de la red (SNA)	3,60
22	Proporción de participación del estudiante	3,60
23	Interactividad de grupo	3,50
24	Porcentaje de participación	3,40
25	Porcentaje de participación (LTEE)	3,40
26	Actividad	3,40



27	Número de mensajes	3,20
28	Contribución de los participantes	3,20
29	Contribución	3,20
30	Clasificación de usuario (dentro del grupo)	3,00
31	Visualización de las diferencias de opinión (ICAR)	3,00
32	Cantidad de participación	3,00
33	Número de mensajes por participante	3,00
34	Grado de centralización de la red - Cd (SNA)	2,80

2.3.1. Los indicadores seleccionados y sus elementos a evaluar

En la Tabla 2, se muestran los 17 indicadores con más opciones para ser redefinidos, clasificados según puedan intervenir en comunicación, cooperación o coordinación. Si bien alguno de los indicadores podría adjudicarse a más de una dimensión del modelo de las 3C's, para facilitar la clasificación, se ha posicionado en aquella que consideramos tiene más relevancia teniendo en cuenta los elementos que se definen en cada una de las dimensiones.

Tabla 2 Indicadores seleccionados y elementos de la colaboración relacionados

Indicador	Elemento intervenido
Comunicación	
Aplicación de estrategia	Comunicación eficiente. Adquisición de compromiso de comportamiento. Planificación y sincronización. Coordinación del proceso de comunicación.
Respuesta de SNA	Nivel de participación. Construcción de la base del conocimiento. Comportamiento interpersonal. Responsabilidad de cada actor. Simetría de las relaciones en las interacciones colaborativas fundamentales.
Lecturas de SNA	Nivel de participación. Comportamiento interpersonal. Simetría de las relaciones en las interacciones colaborativas fundamentales.
Usuario - Estructura de árbol	Comportamiento interpersonal.
Cooperación	
Función de Actividad Colaborativa (CAF)	Efectividad de la colaboración.
Cooperación	Efectividad de la colaboración. Simetría de las relaciones en las interacciones colaborativas fundamentales.



Indicador	Elemento intervenido
Nivel de actividad	Nivel de participación. Efectividad de la colaboración. Responsabilidad de cada actor.
Factor de colaboración (CF)	Efectividad de la colaboración. Simetría de las relaciones en las interacciones colaborativas fundamentales.
Contribución del agente seleccionado (SAC)	Nivel de participación. Responsabilidad de cada actor. Las interacciones entre los actores las tareas y los objetos.
Factor de Historia (HF)	Efectividad de la colaboración. Responsabilidad de cada actor. Las interacciones entre los actores las tareas y los objetos.
Grado de centralidad del actor (SNA)	Simetría de las relaciones en las interacciones colaborativas fundamentales.
Balance de acción y conversación	Las interacciones entre los actores las tareas y los objetos.
Iniciativa	Responsabilidad de cada actor.
Revisión de criterios de éxito	Responsabilidad de cada actor.
Coordinación	
Monitoreo	Gestionar las dependencias entre actividades para la consecución de un objetivo.
División de la labor	Identificar dependencias entre actividades y su organización en tareas.
Coordinación	Identificar dependencias entre actividades y su organización en tareas Nivel de participación.

Estos indicadores recibieron distintos comentarios por los expertos que los valoraron. Dentro de los indicadores para la comunicación, se menciona que pueden ser muy útiles para ver el “equilibrio” en la participación y en la interacción con los otros miembros, permitir al moderador intervenir y mejorar los procesos. Respecto a los indicadores de cooperación, se expresa que estos facilitarían la evaluación de la dinámica colaborativa, la evaluación de conflictos o personas que participan poco o se relacionan poco con los demás, se podrían identificar “desequilibrios” que puedan ser mejorados y visualizar el grado de participación de cada miembro: "el indicador iniciativa sería útil para ver el grado de participación de cada miembro". Por último, respecto a los indicadores escogidos para la coordinación, se afirma que sería posible conseguir información relacionada con la cantidad de trabajo que ha aportado cada miembro, el nivel de interdependencia positiva generada, la presencia de un trabajo disperso y habilidades como el liderazgo y la responsabilidad: "el indicador aplicación de la estrategia, claramente dice mucho del proceso de colaboración de un grupo, que puede incluso ser contrastado con el proceso de otros grupos o con un proceso “esperado”".

La Figura 4 muestra los indicadores seleccionados y la dimensión de colaboración que se encarga de medir. Los indicadores que podrían ser adjudicados en distintas dimensiones de colaboración al mismo tiempo se ubicaron en el cuadrante más relevante. Además, gráficamente se ubicaron cercanos a la frontera del aspecto al cual también podrían ser designados.

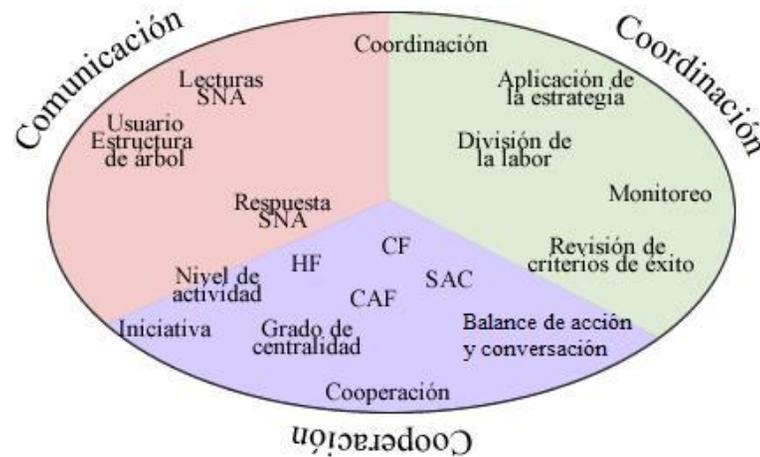


Figura 4 Indicadores identificados en las 3C's

Como resultado del proceso anterior y de la aplicación del método de caracterización del proceso de aprendizaje colaborativo denominado modelo de las 3Cs, se seleccionó un conjunto de indicadores que pudieran ser usados para evaluar el proceso de colaboración en entornos CSCL.

Finalmente se seleccionó un grupo reducido de 4 indicadores considerando los siguientes criterios: la valoración obtenida por los expertos, aquellos indicadores que tuvieran métricas sobre las cuales se pudiera establecer una relación de similitud con medidas obtenidas con SNA, e indicadores con poco grado de subjetividad en sus medidas. Los indicadores escogidos para la redefinición fueron: **Respuestas**, **Función de Actividad Colaborativa (CAF)**, **Factor de colaboración (CF)** y **Coordinación**, según se muestra en la Tabla 3 junto con los elementos del modelos de las 3C's relacionados.



Tabla 3 Los cuatro Indicadores escogidos

Indicador	Elementos medidos	Valoración expertos [1, 5]
Comunicación		
Respuestas	Nivel de participación. Construcción de la base del conocimiento. Comportamiento interpersonal. Responsabilidad de cada actor. Simetría de las relaciones en las interacciones colaborativas fundamentales.	4,40
Cooperación		
Función de Actividad Colaborativa CAF	Efectividad de la colaboración	4,40
Factor de colaboración CF	Efectividad de la colaboración. Simetría de las relaciones en las interacciones colaborativas fundamentales.	4,00
Coordinación		
Coordinación	Identificar dependencias entre actividades y su organización en tareas Nivel de participación.	4,00

A continuación se presenta los 4 indicadores escogidos resaltando la definición original y la propuesta de redefinición de las métricas asociadas utilizando métodos de SNA. La redefinición propuesta procura mantener la estructura y propósito original de los indicadores, buscando métodos de SNA que tengan equivalencia conceptual con las métricas originales de los indicadores.

Para reemplazar una métrica el proceso seguido fue el siguiente:

1. Identificar el objetivo que persigue cada métrica de un indicador.
2. Buscar un método o una combinación de métodos de SNA que permitieran alcanzar el objetivo de las métricas originales que reemplazarían.

2.3.2. Indicador “Respuestas”

Definición Original

Este indicador representa la actividad de respuestas obtenidas a contribuciones entre los actores, representándolas en una matriz social en formato UCINET DL [21] y Agna [37].

Este indicador, tal como se explica en [34], define dos enfoques: el primero, orientado a valorar el



desempeño individual de los participantes mediante la identificación y clasificación de aquellos con posiciones centrales en las argumentaciones y aquellos que se encuentran aislados; el segundo enfoque, a nivel de grupo, corresponde a la posibilidad de analizar la simetría en las participaciones o contribuciones en la argumentación.

Para ambos enfoques, los datos de entrada se obtienen monitoreando el intercambio de información que tiene lugar en la respuesta a contribuciones entre los participantes de la actividad. Su resultado es visualizado mediante grafos dirigidos y no se entrega ningún valor numérico, por lo tanto los análisis se realizan directamente sobre la representación gráfica.

La interpretación de este indicador pueden ser realizada por los ejecutores de la actividad de aprendizaje colaborativo o los participantes de la actividad propiamente dicha, como un mecanismo de reflexión y auto motivación. En cualquier caso, puesto que la representación final de este indicador se realiza en forma de grafo, la interpretación de las medidas obtenidas debe ser llevada a cabo por alguien con conocimientos de SNA.

Algunos de los expertos consultados expresaron: “este indicador es muy útil, pues permite observar el ‘equilibrio’ en la participación y la interacción entre participantes además de ofrecer la posibilidad de intervenir y mejorar los procesos”. Este indicador obtuvo una valoración media de 4,40.

La métrica originalmente asociada a este indicador corresponde a las **Respuestas entre los participantes de la actividad colaborativa**, que es definida como el número de respuestas que un usuario A ha dado a un usuario B, considerando cada usuario de la red contra el resto.

Redefinición del Indicador

La métrica anterior, *Respuestas entre los participantes de la actividad colaborativa*, es una medida que se obtiene directamente del sistema, por lo que hace parte de los datos de entrada para obtener otras medidas de SNA y permite la representación mediante dígrafos, de la forma descrita en la Figura 1 con las relaciones y su respectiva etiqueta representando la cantidad de respuestas de un actor a otro. A continuación describimos las métricas de SNA que hemos utilizado para redefinir el indicador:



- La representación como grafo dirigido valorado permite la aplicación del concepto de prominencia: “prestigio del actor”. Dicho concepto puede relacionarse con el enfoque individual del indicador, ya que permite cuantificar el “prestigio” de cada actor y valorar su participación en las argumentaciones.

El índice *prestigio de grado* (P_D), definido en la sección 1.2.1, es aplicable considerando que los actores tienden a recibir respuestas a sus argumentaciones dependiendo de la calidad de las mismas. Para esta métrica se calcula la proporción del prestigio de cada actor respecto a los demás.

- Se pueden tener otras consideraciones al momento de medir el prestigio de los actores. La utilización del método *prestigio de status o ranking* (P_R) puede ser justificada suponiendo lo siguiente:

Las argumentaciones que más reciben respuestas corresponden a aquellas con alto valor en la generación de conocimiento, ya sea que la argumentación genere controversia, apoyo, o preguntas. En el primer caso se asume que la controversia a su vez se convierte en un generador de conocimiento producto del debate; en el segundo caso, que las respuestas de apoyo son debido a la calidad de la argumentación; y en el tercer caso que las preguntas generadas por la argumentación, enriquecen el proceso de generación de conocimiento.

Teniendo en cuenta el enunciado anterior, el índice *prestigio de status o ranking* permite calificar la participación en el proceso de argumentación de los actores, considerando no solo el número de respuestas obtenidas por el actor, sino también el prestigio de los actores que están respondiendo a la argumentación del actor en cuestión; de manera que no sea igual obtener una respuesta de un actor con prestigio alto, que de un actor de prestigio bajo.

- Como índice útil para identificar actores centrales en las argumentaciones, se propone el uso del índice *centralidad del grado del grupo* (C_D) que permite cuantificar el rango o variabilidad de los índices de los actores individuales. Se propone este método para estudiar la simetría de las contribuciones en la argumentación.



La elección de estos métodos se resume como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4 Métricas originales y sustitutas del indicador Respuestas

Métrica original	Métrica sustituta con SNA	Justificación
Respuestas entre participantes, analizado desde el enfoque de actores centrales e igualdad en las participaciones	Prestigio de grado	Calcular el nivel de participación del actor analizado en cuanto a la recepción de mensajes, destacando actores centrales y aislados.
	Prestigio de status o ranking	Valorar la importancia de un actor teniendo en cuenta el nivel de prominencia de aquellos con los que interactúa.
	Centralidad de grado grupal	Encontrar un valor general a las diferencias entre el nivel de participación de los actores, en otras palabras valorar la simetría en la cantidad de contribuciones.

Calculándose el indicador Respuestas para sus enfoque individual según la fórmula (9), y en su enfoque grupal como la fórmula (10). Los pesos a cada métrica fueron asignados asumiendo que tienen igual importancia analizar el prestigio de cada actor que analizar el prestigio en base a la prominencia de los actores que se comunican con él.

$$Respuestas\ actor = (Proporción\ de\ prestigio\ de\ grado + Prestigio\ de\ status) / 2 \quad (9)$$

$$Respuestas\ grupal = \left(\left[\frac{(\sum_{i=1}^n Respuestas\ actor(i))}{n} \right] + C_D \right) / 2 \quad (10)$$

Todos los índices propuestos proporcionan una medida en el rango de 0 a 1 de tal forma que para el caso del índice *prestigio de status o ranking*, un valor alto implica que un actor obtiene respuestas ya sea de unos pocos actores con un valor alto de prestigio de ranking, o por muchos otros actores con bajo a moderado prestigio de rango; para el caso del índice *prestigio de grado* los valores cercanos a 0 se interpretan como aquellos actores que contribuyen poco en la argumentación y, por el contrario, los que obtienen valores cercanos a 1 son los que contribuyen en gran medida a la argumentación; finalmente, el índice *centralidad del grado del grupo* alcanza su máximo valor cuando un actor responde a todos los demás (g-1) actores y estos a su vez solo responden a este actor en particular, y alcanza su mínimo valor cuando todos los grados son iguales.



2.3.3. Función de Actividad Colaborativa (CAF)

Definición Original

Propuesto en [35], este indicador mide el nivel de colaboración grupal basándose en las interacciones en espacios de trabajo compartido y en los agentes que participan en un momento dado del proceso de aprendizaje. Las medidas de este indicador se basan en la definición de la *función de actividad colaborativa CAF*, la cual señala que cuanto mayor sea la cantidad de agentes y las interacciones entre ellos, mayor será el grado de colaboración.

El indicador CAF se calcula multiplicando la cantidad de agentes por la cantidad de interacciones presentes en un intervalo de tiempo t sobre el canal de comunicación k , tal como se muestra en la fórmula (11). Su visualización se realiza por medio de una diagrama cartesiano, donde el eje X es el tiempo e Y el indicador CAF, mostrando entonces la evolución de este indicador durante el proceso colaborativo. También puede visualizarse contrastándolo con los datos para un único canal de comunicación o distinguiendo a un actor en particular, de tal forma que podemos saber si la actividad se concentra o no en un elemento específico.

$$CAF = \sum Agentes(k, t) * Interacciones(k, t) \quad (11)$$

Por parte de los expertos consultados, fue uno de los indicadores mejor valorados por su relevancia en el análisis y monitoreo de la colaboración, con un valor medio de 4,40.

Las métricas propuestas originalmente para este indicador son:

- **Agentes:** número de estudiantes docentes, investigadores o software que han interactuado.
- **Interacciones:** cantidad de interacciones entre los agentes llevadas a cabo en el espacio de trabajo compartido.

Redefinición del Indicador

Se propone la creación de un sociograma representado por un dígrafo valorado. Los nodos son los agentes que han estado activos en un intervalo de tiempo en el ambiente de trabajo compartido. Cada interacción del agente con el entorno de trabajo se mapea en el dígrafo con relaciones salientes desde el agente en cuestión hacia los otros que estén activos (ver Figura 5).

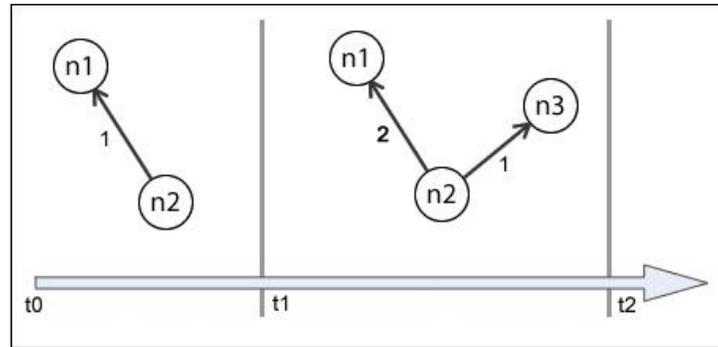


Figura 5 Ejemplo mapeo de una actividad en un ambiente compartido de trabajo

En la Figura 5 el intervalo de tiempo ($t_0 - t_1$) representa a dos agentes (n_1, n_2) en el sistema y la interacción del agente n_2 con el entorno representada por la relación numerada hacia n_1 . El intervalo ($t_1 - t_2$) representa a un agente (n_3) que inicia sesión en el sistema y una interacción del agente n_2 la cual se representa por las relaciones hacia los nodos n_3 y n_1 , teniendo en cuenta que como ya existe la relación $n_2 \rightarrow n_1$, ésta es incrementada en 1.

La anterior representación mediante grafos permite la utilización de los siguientes métodos de SNA que proponemos para definir el indicador:

- **Prestigio de proximidad de grupo ($\overline{P_p}$):** teniendo en cuenta la naturaleza dinámica de construcción del dígrafo en el tiempo, puede ser interesante involucrar una medida que tenga en cuenta el dominio de influencia o importancia de los actores que se relacionan con él. El método *prestigio de proximidad de un nodo* definida en la sección 1.2.1, permite que se tenga en cuenta qué tanto influyen los usuarios que no intervienen directamente en el objeto pero que sí interactúan con los actores que sí lo hacen.

El método en su definición para un grupo se calcula con el promedio de los resultados para cada actor en la red.

Con esta medida se busca reemplazar la medida original de la fórmula CAF, *Agentes (k, t)*, por $\overline{P_p}$, involucrando ahora el concepto de dominio de influencia de los agentes y no sólo el conteo de los mismos; dando así un valor general a la importancia de los actores activos en un momento dado de la actividad colaborativa.



- **Densidad (Δ):** el siguiente término a considerar en la ecuación original es el número de interacciones. Se propone utilizar la medida de densidad para dígrafos valorados la cual mide el promedio de fuerza de los arcos que representa la cantidad de interacciones tanto entre los agentes y como entre los agente y los objetos.

Con los métodos *prestigio de proximidad de grupo* y *Densidad* se completan las medidas sustitutas de SNA para ser reemplazadas en la medida original *CAF*. Sin embargo a continuación se presenta una tercera medida opcional a ser incluida en la ecuación, cuyo objetivo es agregar otro concepto más en el cálculo que aporte más exactitud al resultado obtenido.

- **Valor de la conectividad del grupo:** Se propone considerar la conectividad de la red o grupo definida en la sección 1.2.1, considerando que un grupo con mayores relaciones de comunicación tiende a colaborar más en la ejecución de sus tareas. Para ello, es necesario asignar un valor a cada uno de los cuatro tipos de conectividad.

Tenemos, entonces las siguientes métricas del indicador (ver Tabla 5) que fueron sustituidas para la redefinición del mismo como se ve la fórmula (12); éstas métricas son multiplicadas respetando la estructura original de la fórmula del indicador.

Tabla 5 Métricas originales y sustitutas del indicador CAF

Métrica original	Métrica sustituta con SNA	Justificación
Número de agentes	Prestigio de proximidad	Involucrar no solo la cantidad de actores activos sino también brindar un valor a la importancia general de los actores en la participación sobre los objetos compartidos.
Número de interacciones	Densidad	Valorar el nivel de interacciones en base al máximo posible de las mismas presentes en el ambiente en un momento dado.
	Valor de la conectividad de grupo	Adicionar un valor a la importancia que se den relaciones recíprocas entre actores.

$$CAF = Prestigio\ de\ proximidad\ de\ grupo * Densidad * [Valor\ de\ la\ conectividad] \quad (12)$$

Entonces, el indicador lo definimos con la multiplicación entre *Prestigio de proximidad de grupo* y *Densidad*. La métrica *Valor de la conectividad* es un término opcional, tal como se muestra en la fórmula (12). Para que los resultados puedan ser contrastados, el análisis de la función CAF debe



hacerse para cada canal de comunicación.

2.3.4. Factor de colaboración

Definición Original

Este indicador [32] describe el grado de simetría o nivel de participación relativa de los miembros de una actividad colaborativa. Se basa principalmente en el tipo y tamaño de las contribuciones o eventos realizados a los objetos de la solución de un problema dado. Las contribuciones o eventos son las acciones realizadas para la diagramación de esquemas sobre cualquier objeto, por ejemplo insertar, modificar, eliminar, mover, etiquetar, etc. El resultado permite inferir elementos de la cooperación, como la evolución del desempeño grupal en el tiempo, así como la efectividad de la colaboración. Ambas medidas se calculan respecto a la cantidad de contribuciones en cada tarea según el tiempo empleado.

El factor de colaboración se calcula respecto al modelo de actividad, que se define en base a las siguientes dimensiones: 1) tiempo; 2) actor; 3) objeto: artefactos involucrados en la construcción de la solución, incluyendo artefactos rechazados y abstractos; 4) tipo del evento: o tipo de interacciones dadas entre los usuarios y el sistema. La participación de cada actor se calcula teniendo en cuenta que sobre un objeto en particular puede concurrir un grupo de actores al mismo tiempo con roles de participación distintos. Se mide, entonces, la contribución de un participante sobre un objeto específico, en un momento dado, en función del peso o importancia del sujeto y el peso o importancia de los tipos de eventos con los cuales intervino.

Cabe notar que este indicador se propone para ambientes de resolución de problemas colaborativos de forma sincrónica orientados a la construcción de modelos semánticos como diagramas de flujo, mapas conceptuales y diagramas entidad/relación, entre otros. Su interpretación se reserva para el moderador de la actividad colaborativa e investigadores interesados en la evolución de los productos durante el proceso.

Por su importancia para establecer el grado de colaboración y, en especial de la cooperación, este indicador fue valorado por los expertos consultados con un valor medio de 4,00. Dichos expertos explicaron que “este indicador sería útil para saber quién ha aportado colaborativamente, poco o



nada al grupo”.

A continuación se presentan en detalle las métricas asociadas a este indicador originalmente:

- **Contribución del actor a un objeto (Aco):** Expresa la importancia relativa del uso de un evento por parte de los participantes. Por ejemplo, indicando que se recibe una mejor valoración si se realiza una acción del tipo “insertar nuevo objeto” a la solución, que con otra del tipo “modificar la descripción de algún otro objeto existente”. Sólo se tiene en cuenta el peso del actor y el peso del evento para las acciones sobre un objeto. Ambos pesos son asignados por el moderador de la actividad. El peso del participante se asigna respecto al rol que el estudiante cumple en la actividad. Finalmente, los valores son multiplicados.
- **Factor historia del objeto (Hfo):** Se calcula con la desviación estándar y el valor medio de la métrica anterior *contribución del actor en un objeto*. Indica la simetría o igualdad en la cantidad de contribuciones a un objeto de la solución. Se calcula según la fórmula (13), y toma valores en el rango [0, 1]: valores cercanos a 0 indican que las interacciones fueron realizados por un pequeño grupo, mientras que cercanos a 1 expresan un alto grado de simetría en las contribuciones de los participantes.

$$Hfo = 1 - \frac{stdev(Aco)}{med(Aco)} \quad (13)$$

- **Factor de colaboración del objeto (Cfo):** Es directamente proporcional a la métrica anterior (*Hfo*), al peso relativo del objeto en la solución (*weight(Os)*) configurada por el moderador tomando valores entre 0 y 1, y la longitud de los eventos o acciones hacia el objeto (*len(Eo)*); y es indirectamente proporcional al número total de eventos en la solución (notado como *m* en la ecuación). Se calcula según la fórmula (14).

$$Cfo = \frac{Hfo * weight(Os) * len(Eo)}{m} \quad (14)$$

Toma valores entre [0, 1] donde valores cercanos a 0 puede indicar baja simetría en las contribuciones, poco peso del objeto en la solución, o la presencia de eventos muy cortos respecto a otros eventos en distintos objetos en la solución. Valores cercanos a 1 indican un alto grado de colaboración en el objeto, donde se distingue gran nivel de simetría en la participación para un objeto de mucha importancia en la solución y cuyas contribuciones tienen una longitud lo



suficientemente buena.

Finalmente, el indicador se calcula como la media aritmética de la métrica anterior, *factor de colaboración del objeto*, incluyendo objetos abstractos y desechados, tal como se muestra en la fórmula (15). Este indicador tomaría valores entre [0, 1] de forma similar a como se explicó para la métrica anterior.

$$CF = \frac{\sum_o^n Cfo}{n} \quad (15)$$

Redefinición del Indicador

El indicador Factor de colaboración lo redefinimos en base a un grafo dirigido donde los nodos pueden ser tanto participantes de la actividad como objetos en el entorno compartido, y las relaciones entre estos nodos son etiquetadas con un valor representativo de la cantidad y el peso de cada tipo de evento realizado por un participante hacia algún objeto en particular.

La modificación de este indicador se basa en el cambio de algunas de sus métricas que pasarían a ser calculadas usando métodos de SNA:

- **Contribución del actor a un objeto (Aco):** Se calcula similarmente a su definición original, pero incluyendo la cantidad de veces que el actor interviene en el objeto. Al final, la medida dependerá directamente del peso del actor (asignado por el moderador), el peso del evento (asignado por el moderador) y la cantidad de veces que el actor usa el evento sobre el objeto en cuestión.
- **Factor de historia del objeto (Hfo):** Se calcula con la desviación estándar y el valor medio de la métrica anterior (Aco). Indica la simetría de las contribuciones a un objeto. Se aplica la misma fórmula (13) de la métrica original.
- **Factor de colaboración del objeto (Cfo):** Se calcula en función de las siguientes medidas:
 - *Factor historia del objeto*, calculada en la anterior métrica.
 - *Peso relativo del objeto en la solución*: calculado a través de SNA usando un método que permita saber la importancia de un nodo, etiquetado como objeto, basándose en la cantidad de contribuciones y el poder o influencia de los actores que le intervienen.



Se elige el método *grado de prestigio de proximidad* (P_p) que calcula la prominencia de un actor respecto a su radio de influencia (definido en la sección 1.2.1). A continuación se presenta la Figura 6 que clarifica el uso del índice y la representación mediante grafo de la situación planteada en el indicador.

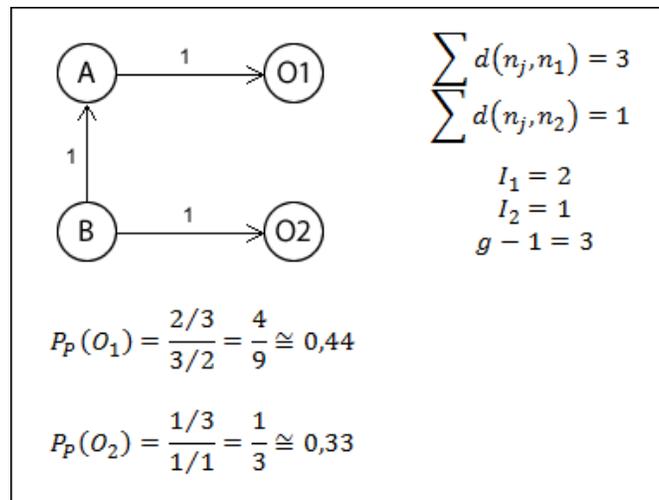


Figura 6 Ejemplo de prestigio de proximidad

La Figura 6 muestra un grafo con cuatro nodos, los actores A y B que realizan intervenciones sobre los objetos O1 y O2 respectivamente. Se calcula el Prestigio de grado del nodo para los nodos O1 y O2; el resultado para el nodo O1 es mayor porque está relacionado con un actor el cual ha recibido mensajes de otro quien pudo haberle ayudado en su intervención al objeto.

La definición del peso relativo de un objeto de esta forma permite que ésta se realice automáticamente basándose en las interacciones durante el proceso y no como una calificación previa realizada por el moderador de la actividad. El valor obtenido aquí es calibrado para un rango entre [0, 1], donde 0 es el menor grado de prestigio y 1 el mayor grado de prestigio.

- *Proporción de la longitud de los eventos en un objeto*: intenta expresar el porcentaje de longitud de las contribuciones hacia un objeto. Se propone cambiarla por un método SNA que permita describir con qué intensidad un nodo se relaciona con los demás. Se escoge



por consiguiente el método de *proporción de prestigio de grado* definido en la sección 1.2.1.

Cfo se define como se muestra en la fórmula (16).

$$Cfo = Hfo * Prestigio\ de\ proximidad\ (O) * Proporción\ prestigio\ de\ grado\ (O) \quad (16)$$

Resumiendo el indicador es redefinido cambiando algunas métricas como se muestra en la Tabla 6, pero teniendo el cuidado de modificar en lo menos posible el propósito del mismo.

Tabla 6 Métricas originales y sustitutas del indicador CF

Métrica original	Métrica sustituta con SNA	Justificación
Contribución del actor sobre objeto		Se mantiene igual en su definición original, el peso del actor y del evento es configurado por el moderador. Con el fin de no quitarle la importancia que puede tener para la actividad de asignar pesos diferentes a los actores según el rol que ejercen en la misma.
Factor historia		Se mantiene igual, con el fin de medir el equilibrio en la contribución dependiendo del peso asignado por el moderador.
Peso relativo de un objeto	Prestigio de proximidad	Medir la importancia de los nodos tipo objeto compartido, realzando la cantidad de contribuciones e influencia de los actores que le intervienen. Desligar una medida subjetiva presente en la forma original del indicador.
Longitud de los eventos	Proporción de prestigio de grado	Se pasa de medir el tamaño o duración de un evento o interacción, lo cual es una medida muy difícil de obtener para toda interacción, por una proporción en la cantidad de intervenciones para cada nodo tipo objeto compartido.
Factor de colaboración		Igual que en su definición, se multiplican las métricas que la conforman para mantener su esencia.

Finalmente el indicador se calcula hallando la media aritmética de todos los factores de colaboración del objeto, incluyendo todos los objetos utilizados durante la actividad, tal como se muestra en la fórmula (15) y en la Figura 7. El valor del indicador está entre [0, 1], donde valores cercanos a 0 indica una baja colaboración y cercanos a 1 una muy buena colaboración respecto a la simetría en la participación y la importancia prestada por los miembros de un grupo encargado a un problema dado.

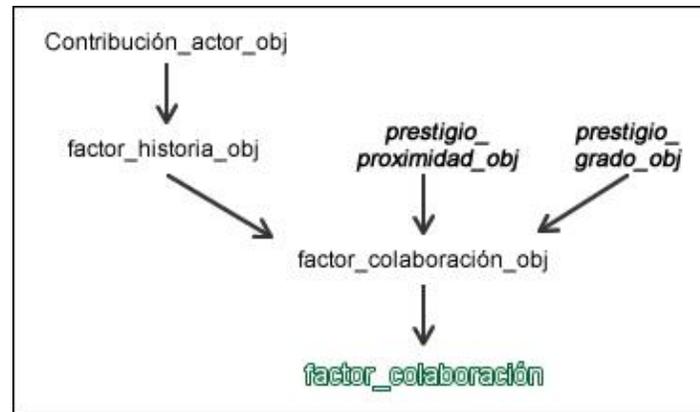


Figura 7 Indicador Factor de colaboración y sus métricas asociadas

La incorporación de los métodos de SNA propuestos aquí ayuda a independizar el cálculo del indicador buscando una calificación progresiva del peso de un objeto en la solución, evitando la asignación subjetiva del docente sobre el peso que éste debe tener, sabiendo de antemano que a veces es difícil estimarlo.

2.3.5. Coordinación

Definición Original

Propuesto en [12], este indicador provee una valoración general del grado de coordinación presente durante las actividades comunicativas y cooperativas del proceso de aprendizaje colaborativo. Para conseguir esto, tiene en cuenta tanto las interacciones directas para alcanzar los objetivos colaborativos como las interacciones para coordinar la participación de cada actor. El resultado del indicador proporciona una medida de red.

El cálculo de este indicador depende principalmente de la iniciativa y la argumentación expuesta por los participantes, de los mensajes de coordinación intercambiados entre ellos y de una serie de mediciones sobre los tipos de mensajes que son enviados en las distintas fases que componen una discusión. Estas fases son, de proposición, de argumentación y de aceptación. Los tipos de mensajes básicos definidos son: propuestas y contrapropuesta en la fase propositiva, pregunta, comentario y aclaración en la fase argumentativa, y aceptación para la última fase; cada tipo de mensaje tiene un peso particular en la métrica que se quiera encontrar. Las métricas calculadas teniendo en cuenta el tipo de mensaje usado por un participante son:



- *Iniciativa*: Grado de compromiso y responsabilidad mostrado en la contribución.
- *Elaboración*: Volumen de trabajo realizado en la contribución.

La Tabla 7 muestra los pesos asignados por el autor del indicador a cada tipo de mensaje para la métrica que se quiera encontrar, sin embargo, el autor no especifica la lógica detrás de la asignación de estos valores. Para explicar mejor la utilización de esta tabla se puede considerar el siguiente ejemplo: si se quiere hallar el valor de iniciativa emanada por un individuo en sus contribuciones, se multiplica la cantidad de mensajes de cada tipo de contribución por el peso asignado para iniciativa y se suman dichos valores.

Tabla 7 Medidas según el tipo de mensajes en DEGREE

Etapa	Contribución	Iniciativa	Elaboración
Propositiva	Propuesta	10	10
	Contrapropuesta	10	9
Argumentativa	Pregunta	2	1
	Comentario	4	2
	Aclaración	4	2
De aceptación	Aceptación	0	0

Como fue propuesto, este indicador, no tiene un actor en particular al cual vaya dirigido; tanto docentes, estudiantes e investigadores podrían tener acceso a esta medida.

Las métricas originalmente asociadas a este indicador se describen a continuación:

- **Trabajo**: se calcula con la multiplicación de las siguientes medidas.
 - *MNúmeroContribuciones*: Número de contribuciones del actor.
 - *MTamañoContribucion*: Tamaño en palabras o en espacio físico de cada contribución.
 - *Elaboración*: Se calcula según la Tabla 7, la cual indica los pesos asignados a cada tipo de mensajes durante el proceso analizado.
- **Argumentación**: se calcula multiplicando las siguientes medidas:
 - *Trabajo*: Proveniente de la métrica anterior.
 - *Iniciativa*: Se calcula usando la Tabla 7 y multiplicando los pesos adecuados para cada tipo de mensaje.
 - *Interactividad*: Porcentaje de contribuciones respondidas o enlazadas a contribuciones de otros usuarios.
 - *ProfundidadDelArbol*: La máxima profundidad del árbol de contribuciones que se genera



durante un diálogo.

Por último, el indicador se define según la fórmula (17).

$$\text{Coordinación} = \text{Mensajes de coordinación} + \text{Iniciativa} + \text{Argumentación} \quad (17)$$

Donde *mensajes de coordinación* es la cantidad de mensajes realizados en el ambiente predestinado para el proceso de coordinación.

Los valores que puede tomar el indicador van desde 0 en adelante. Un valor de 0 expresa que no se ha presentado trabajo alguno, ni si quiera de intercambio de mensajes de coordinación. Por otro lado, cuanto mayor sea el valor, mayor será la coordinación.

Normalmente, estas medidas son expresadas en conjuntos difusos o agrupaciones lingüísticas según sea el valor numérico. Por ejemplo, se usa el conjunto difuso: pequeño, adecuado y alto para expresar el trabajo realizado por un actor sobre una tarea. Esto quiere decir, que se definen rangos lingüísticos que representen el valor numérico obtenido.

Redefinición del Indicador

Se propone la modificación de las métricas *trabajo* y *argumentación* las cuales pasarían a ser calculadas usando métodos de SNA. Para lo cual se crea un grafo dirigido cuyos nodos son los actores activos que realizaron acciones en cualquier canal de interacción durante un intervalo de tiempo, y las relaciones son la cantidad de contribuciones o intervenciones hechas en el mismo intervalo de tiempo. Se modifican las tres métricas listadas originalmente de la siguiente forma:

- **Trabajo:** Se cambian las medidas de *MNúmeroContribuciones*, y *MTamañoContribucion*, las cuales buscan expresar la cantidad de trabajo que se realiza en un intervalo de tiempo durante el proceso colaborativo. Se propone usar el método de *Prestigio de proximidad del nodo* (P_p), que permita dar un valor a la intensidad de las relaciones entre los actores. Los siguientes son los métodos en esta métrica:
 - *Elaboración:* Se usa su definición original especificada en la sección anterior.
 - *Prestigio de proximidad del nodo* (P_p): Definido en la sección 1.2.1. Para el cálculo de la métrica **Trabajo** se entendería que además de la cantidad de contribuciones realizadas, es



también importante que el actor se relacione con la mayor cantidad de personas posible, de forma que ayuden a enriquecer su participación.

De esta forma, esta métrica deja de depender del tamaño de cada contribución dada por el actor y pasa a depender en la cantidad de contribuciones y la fortaleza en la relaciones de cooperación entre los actores. Además, el análisis se realiza teniendo en cuenta que si todos cooperan entre sí se obtendrán mejores resultados. Finalmente, la métrica es definida según la fórmula (18).

$$\text{Trabajo} = \text{Elaboración} * \text{Prestigio de proximidad} \quad (18)$$

- **Argumentación:** Se cambian las medidas de *Interactividad* y *ProfundidadDelArbol*. La medida *Trabajo* se obtiene de la métrica anterior, y la medida *Iniciativa* se calcula según se propone originalmente.
 - *Interactividad:* Para su definición, se utiliza un método que indique el involucramiento e influencia de un actor en las conversaciones, que además tenga en cuenta la cantidad de personas con las que se relaciona, la cantidad de acciones realizadas, que sea una medida significativa para todo un grupo y que los datos analizados correspondan a acciones del tipo respuestas a otras contribuciones.

Para el análisis de esta medida se crea un grafo dirigido que sólo se basa en las relaciones del tipo respuesta a contribuciones. A este grafo se le aplica el método de SNA *Prestigio de status o ranking* (P_R), definido en la sección Conceptos y Métodos de SNA página 11 .

La incorporación de este método de SNA permite un análisis similar al propuesto originalmente, pero más profundo respecto al prestigio o distinción del actor con que interactúa.

- La medida *ProfundidadDelArbol* es cambiada por un método SNA que exprese la grandeza de un grafo, que puede ser en tamaño/cantidad o prestigio total o promediado del grafo. Proponemos el método de *Densidad* por su capacidad de expresar el nivel de profundidad y el grado de compromiso de los participantes en actividades de discusión. De este modo, no sólo se vincula a esta métrica el valor de la cantidad de contribuciones, sino también el nivel de participación de todos los actores en la discusión o solución del problema dado.

La métrica argumentación queda redefinida entonces de la siguiente manera:



$$\text{Argumentación} = \text{Trabajo} * \text{Iniciativa} * \text{Prestigio de status} * \text{Densidad} \quad (19)$$

Resumiendo, se han cambiado algunas de las métricas que originalmente conformaban el indicador (como se muestra en Tabla 8), tratando de mantener la estructura y propósito del mismo.

Tabla 8 Métricas originales y sustitutas del indicador Coordinación

Métrica original	Métrica sustituta con SNA	Justificación
Elaboración		No es cambiada, porque definir el grado de elaboración de los mensajes de un actor generaría polémica, entonces se acepta una forma de hacerlo ya comprobado.
Iniciativa		No es cambiada, porque definir el grado de iniciativa expuesta por un actor generaría polémica, entonces se acepta una forma de hacerlo ya comprobado.
Número y tamaño de las contribuciones	Prestigio de proximidad	Se incluye el número de contribuciones pero el tamaño es tomado como la prominencia del actor quien lo realiza. Además es también importante analizar la influencia de los demás actores sobre algún otro.
Trabajo		Igual que en su definición, se multiplican las métricas que la conforman para mantener su esencia.
Interactividad	Prestigio de status o ranking	Se busca estudiar la influencia de un actor en las conversaciones, la cantidad de personas con las que se relaciona y la cantidad de acciones realizadas.
Profundidad del árbol de argumentación	Densidad	Con el fin de medir la grandeza de un grafo ya sea en tamaño, cantidad o prominencia.
Argumentación		Igual que en su definición, se multiplican las métricas que la conforman para mantener su esencia.
Mensajes de coordinación		Se mantiene igual contando la cantidad de mensajes etiquetados de coordinación, ya que es la única forma de saber la cantidad de trabajo de coordinación realizado.

Finalmente el indicador Coordinación conserva su fórmula original (17) pero teniendo en cuenta que la *Argumentación* es redefinida como se muestra en la Figura 8.

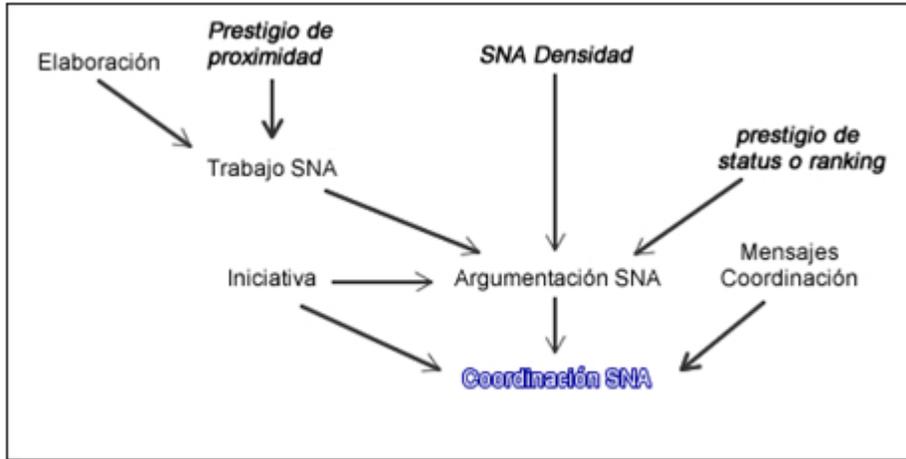


Figura 8 Indicador Coordinación y sus métricas asociadas

El indicador Coordinación SNA tomaría el mismo rango de valores que en su forma original propuesta en [12]: 0 ausencia de interacciones y cercanos a 1, mayor la cantidad de interacciones.

Con este indicador se completa la redefinición de los 4 indicadores escogidos, argumentando la utilización de cada una de las medidas de SNA y en general proponiendo un método de utilización de esta área de conocimiento en el campo del aprendizaje colaborativo. En la Figura 9 se muestran estos indicadores y los métodos de SNA asociados distinguiendo aquellos que son utilizados en más de un indicador.



Figura 9 Los cuatro indicadores a definir compartiendo seis distintos métodos de SNA



CAPÍTULO III. PROTOTIPO SOFTWARE BASADO EN LOS INDICADORES PROPUESTOS MEDIANTE EL USO DE SNA

Con el avance constante de las TIC y las interfaces de usuario de los distintos tipos de aplicaciones software, muchas de éstas, antes aplicaciones mono-usuario, están transformándose en aplicaciones que permiten interacciones sociales y, en algunos casos, actividades colaborativas, lo cual constituye un avance natural debido a la tendencia de interacción social del ser humano. Teniendo en cuenta el anterior escenario, el análisis de las interacciones que se presenten en aplicaciones software social, se convierte en un campo de investigación aun por explorar.

SNA con su conjunto de métodos matemáticos, permite la valoración y monitoreo de las actividades colaborativas estudiando los actores y sus relaciones, proporcionando medidas cuantitativas objetivas que permitan definir indicadores del proceso de interacción que eviten la subjetividad en las mediciones, debido a que los datos con los que se efectúan las operaciones de SNA son proporcionados por las aplicaciones software que, generalmente, almacenan las interacciones de los usuarios con éste. Considerando lo anterior y los indicadores redefinidos usando SNA en el capítulo II, es indispensable la implementación de un prototipo software que aproveche las virtudes de los equipos computacionales, relacionadas al procesamiento o cálculo matemático.

3.1. Metodología de desarrollo

Se tuvieron en cuenta algunas prácticas de la metodología de desarrollo de software XP como la *programación por pares* al momento de implementar los métodos de SNA necesarios, el *diseño simple y metáfora del sistema* definiendo la modularidad del sistema a ser implementado, la propiedad colectiva del código utilizando el sistema de control de versiones Sub-Version, definiendo practicas tanto para su utilización como para la codificación, tales como la realización de actualizaciones (commits) por cada cambio con el comentario asociado a cada uno y el lenguaje de codificación (inglés), además de la revisión de código y la definición previa de *casos de prueba* de los métodos a implementar.

También se consideró algunos aspectos del ciclo de vida del proceso de desarrollo de software XP y



se realizaron algunos artefactos que pueden ser encontrados en el Anexo I:

- En la fase de exploración y planeación:
 - Levantamiento de lista de rasgos y características funcionales: obtenidas después del proceso de selección de los indicadores y el estudio de los métodos de SNA a ser implementados.

Se realizaron artefactos complementarios a la metodología como diagrama de casos de uso, modelos conceptuales y de clases.

- En la fase de iteraciones a entregables:
 - Ajuste de arquitectura: definiendo la estructura modular del prototipo, sus entradas y salidas.
 - Ajustes y pruebas de aceptación: realizadas después de cada adición de un nuevo método de SNA al prototipo aplicando los casos de prueba definidos para cada método, obtenidos durante la etapa de Levantamiento y lista de rasgos y características funcionales.

En esta fase se realizaron artefactos como el plan de iteraciones y liberación, Definición de las etiquetas y atributos de los archivos XML, Casos de uso extendidos y diagramas de dependencia de paquetes.

- En la fase de producción:
 - Código funcional en cada iteración.

El artefacto en esta fase fue el código funcional siempre accesible desde el sistema de control de versiones Sub-Version.

3.2. Consideraciones de diseño e implementación

3.2.1. Exploración de librerías de código que implementen métodos de SNA o teoría de grafos y matrices

Buscando ofrecer una alta disponibilidad para posteriores utilidades del prototipo denominado IASNA⁵ por parte de diferentes grupos investigativos o terceros, se hizo una selección entre diferentes lenguajes de programación teniendo en cuenta aspectos como su reconocimiento en el

⁵ Nombre asignado al prototipo implementado por Interaction Analysis using SNA



entorno académico investigativo, existencia de proyectos o librerías que ya implementen métodos de SNA, licencias y accesibilidad a los proyectos o librerías y finalmente, viabilidad de planteamiento de nuestro proyecto bajo una licencia no propietaria y de fácil acceso al entorno académico (ver Anexo K). Se encontró un proyecto en Python con licencia MIT llamado Python-Graph [38] el cual ya implementaba una cantidad significativa de teoría de grafos, además de otro proyecto llamado NumPy [39], también de código abierto. Considerando los aspectos arriba mencionados se optó por la utilización de Python para la programación del prototipo, además de la utilización de las librerías Python-Graph y NumPy para agilizar el proceso de desarrollo, ver Figura 10.

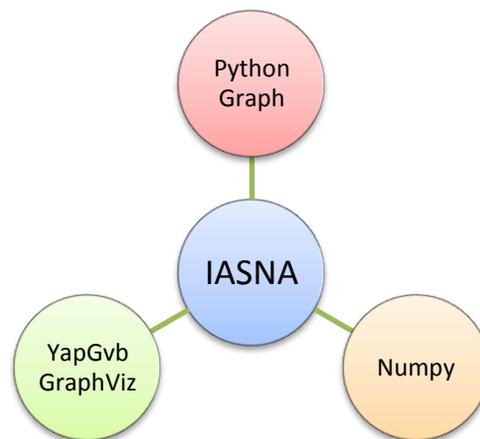


Figura 10 Librerías externas usadas por IASNA

3.2.2. Desarrollo de un prototipo de código abierto y de alta accesibilidad para el ámbito académico investigativo

Se inició el proceso de desarrollo creando un proyecto en Google Code [40], buscando de esta manera que el proyecto estuviese disponible a la comunidad académica desde sus inicios por medio de esta plataforma que proporciona servicio de hosting open-source y soporte para integración de sistemas de control de versiones, y se comenzó el proceso de codificación utilizando el sistema de control de versiones Subversión.

Luego, basados en lo que ya había sido implementado en Python-Graph, NumPy y los métodos necesarios para los indicadores propuestos, se seleccionaron los métodos que debía incluir IASNA. A partir de lo anterior se comenzó con la codificación de los métodos, utilizando como soporte aquellos ya programados en los módulos de apoyo.

El lenguaje tanto de desarrollo del prototipo, como de difusión en los medios de distribución escogidos (Google Code y Google Groups) debía ser el inglés para ofrecer una amplia accesibilidad y potencial utilización del prototipo por proyectos del ámbito académico investigativo.

3.2.3. Independencia entre el prototipo propuesto y los entornos CSCL

Pretendiendo que el prototipo pueda ser utilizado por diferentes entornos CSCL, se ha propuesto el siguiente modelo de interacción entre el prototipo software propuesto y aplicaciones de terceros que lo utilizaran.

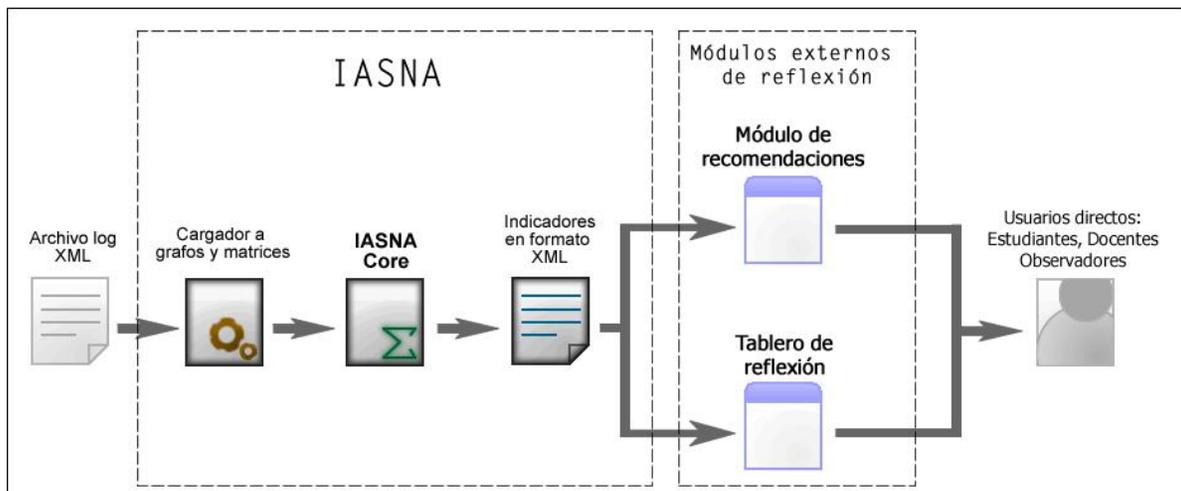


Figura 11 Diagrama de interacción entre IASNA y los entornos de terceros

Archivo log XML

El módulo de IA usando SNA, denominado IASNA CORE, y descrito en detalle más abajo, define previamente un formato para los datos de entrada, basado en XML, de tal forma que éstos puedan ser transformados a grafos o matrices que constituyan los datos de entrada con los que posteriormente se efectuarán las operaciones correspondientes de SNA para obtener los índices requeridos e indicadores. El formato del archivo de log propuesto está basado en el modelo de acciones colaborativas descrito en [41], el cual se basa en el siguiente diagrama de clases (Figura 12) que representa las interacciones en entornos CSCL:

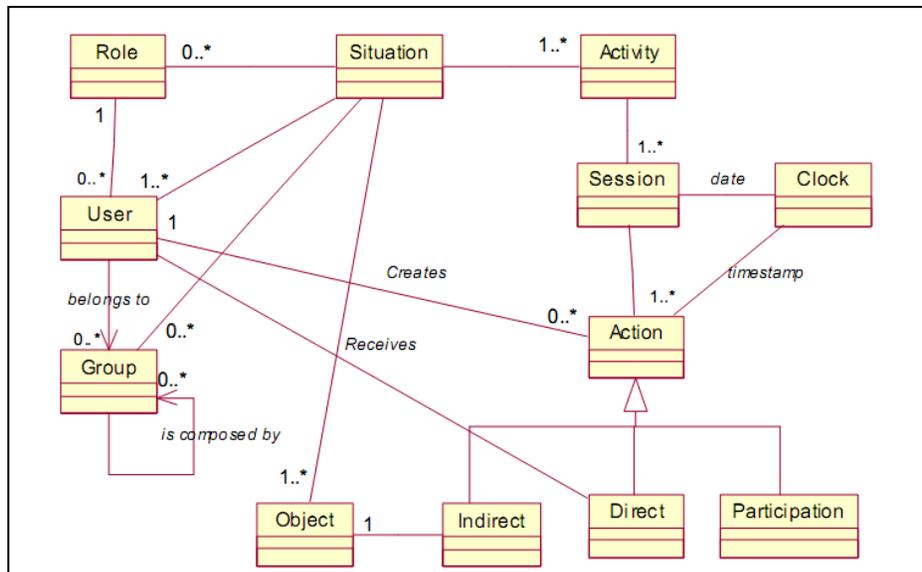


Figura 12 Diagrama de Interacciones para entornos CSCL, tomado de [41]

Las etiquetas y atributos definidos en el archivo XML de entrada son explicados en detalle en el Anexo I de este trabajo. La estructura definida en este archivo constituye las restricciones o directrices a ser tenidas en cuenta por los entornos que pretendan integrar el prototipo, de esta manera puede ser necesario implementar un submódulo de transformación del log original de transacciones provisto por el entorno, al formato definido por el archivo XML de entrada del prototipo. Hay que resaltar que este submódulo no hace parte del prototipo propuesto, pero sin embargo, en el paquete de distribución del prototipo, se incluye este submódulo que fue construido con el propósito de cargar los datos desde los logs de TeamQuest. Lo mismo sucede con los módulos de recomendaciones y el denominado ReflectionBoard que son considerados como componentes o módulos de terceros que consumen los datos provistos por IASNA, y también se incluyen en el paquete de distribución por medio de 2 aplicaciones que ilustran o ejemplifican la integración e implementación.

Cargador a grafos y matrices.

Encargado de recibir el archivo XML y convertirlo a las representaciones mediante grafos y matrices necesarias para el procesamiento por parte del motor de operaciones o métodos de SNA.

IASNA Core

Este es el componente central del Modulo ya que implementa los algoritmos fundamentales de



SNA. Los datos de entrada a las funciones que proporciona este componente la constituyen los grafos y matrices cargados desde el archivo de entrada de datos Archivo log XML por el Cargador a grafos y matrices.

Las funciones o métodos de SNA entregan como salida una serie de medidas que son presentadas de forma cuantitativa y se basan en la implementación de conceptos matemáticos que sustentan los métodos. Aunque estos datos pueden ser interpretados directamente por el usuario, para comprender de forma óptima la información que se quiere transmitir con dicho datos es necesario que el usuario tenga ciertas nociones de SNA.

La salida de este motor corresponde a las medidas e indicadores calculados durante el desarrollo de la actividad, entregados de acuerdo a los intervalos de tiempo definidos previamente para el análisis del proceso de la actividad. También es entregado en formato XML para que esté disponible a aplicaciones de terceros y pueda ser utilizado para implementar módulos de recomendaciones o tableros de reflexión con la información provista por parte de aplicaciones de terceros. El formato de salida fue modelado teniendo en cuenta el siguiente diagrama de clases (ver Figura 13) y planteado también en base al modelo de interacciones propuesto en [41]. La definición detallada de cada una de las etiquetas y atributos del archivo XML puede ser consultada en el Anexo I.

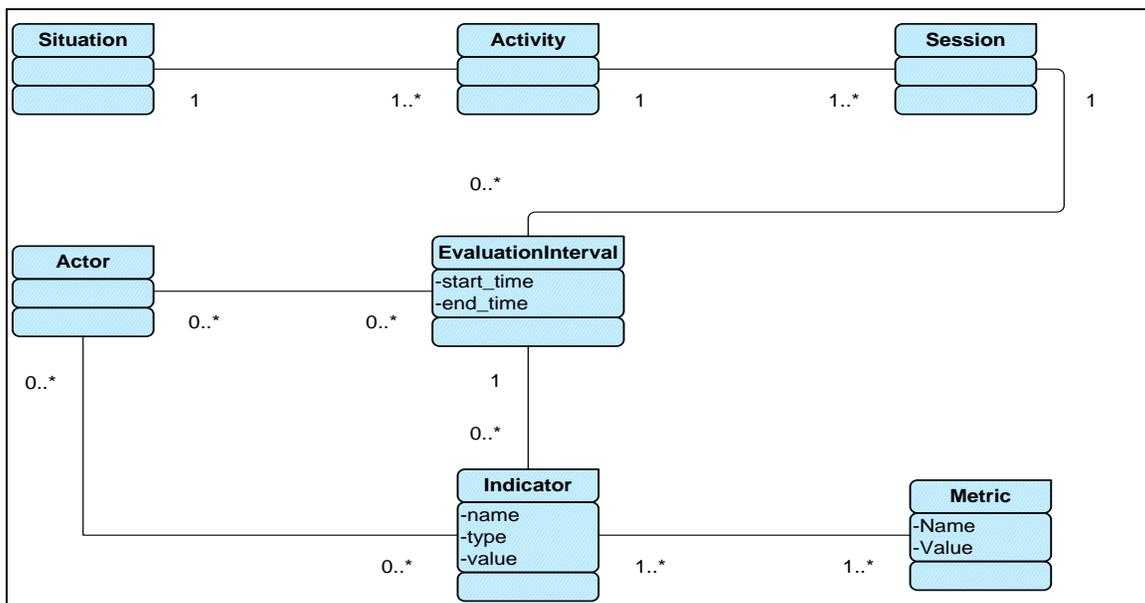


Figura 13 Diagrama de Clases sobre el cual se basa el formato de salida de los Indicadores



El módulo IASNA se concibe entonces para ser ejecutado desde consola por aplicativos de terceros, permitiendo enviar parámetros por consola para la posterior ejecución del cálculo de los indicadores como se muestra en la Figura 14, específicamente en el recuadro amarillo se definen parámetros previos de ejecución como el nombre del archivo de log XML, el rango de fechas y horas sobre el cual se va a efectuar el análisis y la segmentación en minutos que se efectuará sobre el rango, para la entrega de resultados de los indicadores y sus métricas.

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\iasna-direct-0.8.1.win32>iasna.exe Grupo1 "12/30/2005 10:05:00" "12/30/2005 10:15:00" 9
executing ['iasna.exe', 'Grupo1', '12/30/2005 10:05:00', '12/30/2005 10:15:00', '9']

Warning, while creating path directories it throws an exception, please be sure these directories exist:
C:\iasna\analysis\raws\, C:\iasna\analysis\results\, C:\iasna\raws\graph_img\
paht not is file: Grupo1.xml

Analizando situacion C:\iasna\analysis\raws\Grupo1
Writing file C:\iasna\analysis\results\Grupo1_indicators.xml

Listo para imprimir los grafos en imagenes ...
Fecha: 2005-12-30 10:14:00 to 2005-12-30 10:22:58
Rendering C:\iasna\raws\graph_img\Grupo1_msg.jpg ...
Rendering C:\iasna\raws\graph_img\Grupo1_res.jpg ...
Rendering C:\iasna\raws\graph_img\Grupo1_coo.jpg ...
Rendering C:\iasna\raws\graph_img\Grupo1_act.jpg ...
Rendering C:\iasna\raws\graph_img\Grupo1_lat.jpg ...
Rendering C:\iasna\raws\graph_img\Grupo1_usr.jpg ...
Rendering C:\iasna\raws\graph_img\Grupo1_all.jpg ...

Finaliza exitosamente.
C:\iasna-direct-0.8.1.win32>
```

Figura 14 Uso de IASNA Core analizando por rango de fechas

Los módulos de Reflexión y Recomendaciones, aunque fueron inicialmente considerados para ser implementados, no fueron realizados debido a la complejidad inherente al diseño e implementación de sistemas con mecanismos de Awareness y la necesidad de integración al entorno colaborativo, que contradecía el propósito de construir un módulo independiente del entorno. Sin embargo a continuación se define el propósito general de éstos módulos.

El tablero de reflexión

Se encargaría de proveer mecanismos de Awareness a los usuarios basados en la información provista por el módulo IASNA, que entregue la información de una forma más entendible y acorde a la terminología de la actividad colaborativa.



Módulo de recomendaciones

Permitiría configurar el sistema por el moderador para ofrecer recomendaciones a los actores, dependiendo de la definición de reglas asociadas con los rangos para los valores de los indicadores y los roles de los actores. Aportando en la realimentación de las dinámicas de interacción a los usuarios.

CAPITULO IV. VALIDACIÓN DE LOS INDICADORES EN EL MARCO DE UNA ACTIVIDAD CSCL

Con el fin de validar los indicadores propuestos es este proyecto, se hace necesario seleccionar una actividad colaborativa a la cual puedan ser aplicados. Se tuvieron en cuenta diversos criterios para seleccionar el entorno computacional que soportara una actividad colaborativa, entre ellos criterios como accesibilidad al log de interacciones, la posibilidad de sumar vigencia o continuidad a otros proyectos relacionados, Licencias de software asociadas o posibilidad de confrontar los resultados de los indicadores propuestos con otros planteados desde un enfoque diferente, entre otros. A continuación se presenta el método de validación y análisis utilizado, en el cual se tuvo en cuenta principalmente la posibilidad de contrastar los resultados de los indicadores de SNA con los resultados de otros indicadores aplicados sobre la misma herramienta, de manera que fuese posible comprobar por comparación y métodos estadísticos aplicados sobre los valores de los indicadores, la similitud de los resultados obtenidos con métodos de evaluación planteados desde diferentes enfoques (ver Figura 15).

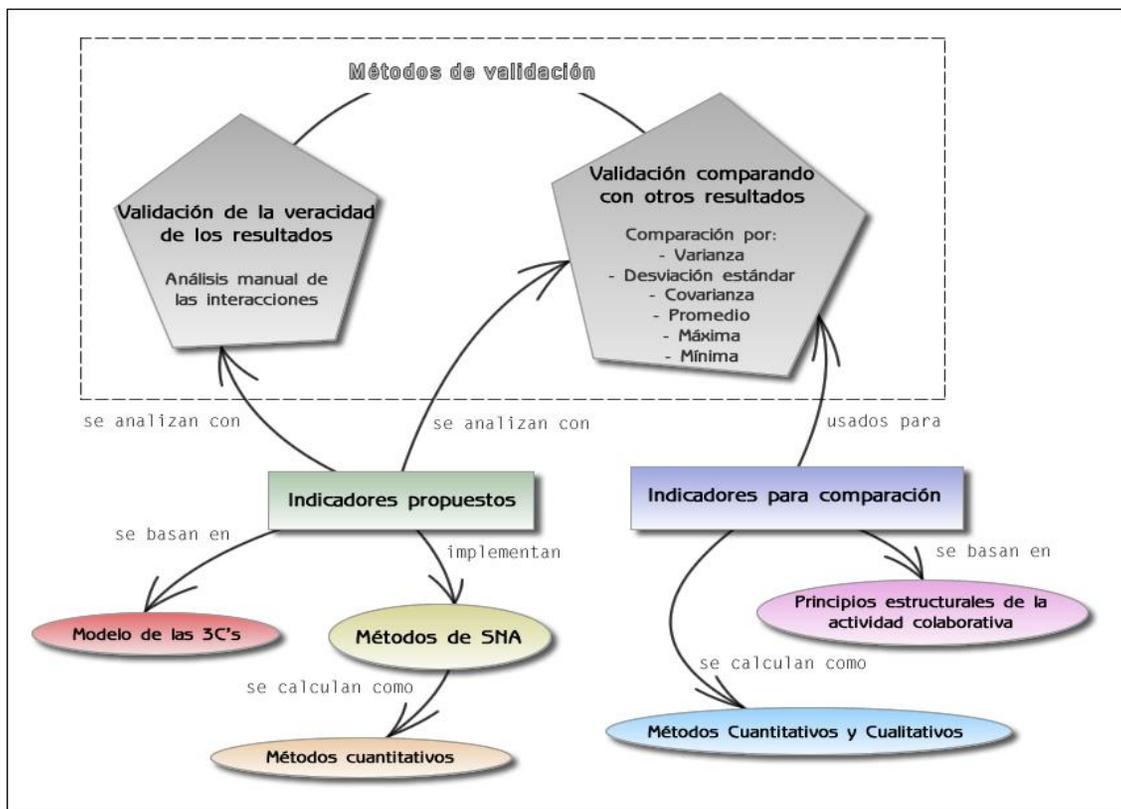


Figura 15 Método de Validación de los indicadores



Para la validación por comparación entre los indicadores de SNA y los indicadores elegidos en la bibliografía, la utilización de ambos conjuntos de indicadores debe realizarse sobre los mismos registros de interacción obtenidos desde una actividad colaborativa; en este punto del proceso se decide utilizar los logs de 9 actividades previamente realizadas y de las cuales también se cuenta con resultados y análisis del otro conjunto de indicadores, aprovechando esta información bastante útil para la validación por comparación de resultados, y evitando errores en la asignación de medidas para las métricas y su ponderación en el caso de realizar nuevamente las experimentaciones.

4.1. TeamQuest

Se tuvieron en cuenta diversos entornos colaborativos a los cuales se le realizó un estudio funcional y se definieron unos criterios para su selección, ver Anexo L; además de éstos criterios se le dio importancia a la existencia de indicadores planteados desde un enfoque diferente que permitieran hacer un contraste de resultados contra los indicadores planteados con SNA.

TeamQuest [42] es un videojuego diseñado e implementado bajo el concepto de que es necesario *aprender a colaborar*. Las características y restricciones del juego obligan a los jugadores a mantener **Interacción simultánea** requiriendo que estos estén presentes colaborando al mismo tiempo, **Igual participación** dividiendo la tarea a revisar de manera que cada jugador le corresponda exactamente una parte igual de responsabilidad de todas las tareas a revisar, **Interdependencia positiva** dando a cada jugador información que sea necesaria para el éxito de cada uno de los otros actores y **Responsabilidad individual** al asignar una cantidad de tareas a cada uno de los actores.

El espacio central del juego es un laberinto peculiar con obstáculos donde los actores deben llevar a un héroe hasta su princesa (ver Figura 16). El fin del juego se alcanza cuando todos los objetivos parciales se hayan logrado exitosamente, es decir, cuando cada jugador haya conseguido guiar al héroe a través del cuadrante correspondiente hasta la salida. Cada objetivo parcial debe necesariamente ser alcanzado con la colaboración de todos los participantes quienes poseen información necesaria para que el jugador en turno logre guiar al héroe hasta la salida de su



cuadrante.



Figura 16 Interfaz Gráfica de TeamQuest

El juego se compone de cuatro actores, cada uno en una terminal tipo cliente y la información es almacenada en un servidor para su posterior análisis. Todas las relaciones deben producirse por medio del juego y no debe haber interacciones cara a cara.

4.1.1. La Mecánica de Juego

Visualmente, el juego tiene tres componentes: el espacio de trabajo, el mecanismo de comunicación o chat y los indicadores de puntaje y vida. El espacio de trabajo consta de cuatro espacios por donde debe pasar el héroe esquivando a su paso obstáculos y encontrando no solo la manera de llegar sin tropezar con ellos, sino también recogiendo algunos objetos del entorno que le ayudarán en su propósito y calificación final. Cada jugador tiene la oportunidad de manejar al héroe solo cuando este se ubique en el cuadrante al cual es asignado y los botones de movimiento le son habilitados. Al actor con la capacidad de moverse se le llama ejecutor y al resto ayudantes o asistentes y son quienes deben proveer la información necesaria a ejecutor para evitar los obstáculos.

Las comunicaciones con los otros jugadores se hacen por medio del chat. El héroe posee una barra de vida que inicia al tope de su capacidad pero cuando éste choca con algún obstáculo la barra.



Todos los jugadores pueden revisar los indicadores de vida y puntaje en cualquier momento del juego.

El log de interacciones

El servidor conserva un registro de las interacciones en tres archivos distintos guardados en formato de texto: 1) características del juego: puntajes y tiempo total, 2) bitácora de comunicación donde se guardan los mensajes enviados de un actor a otro, 3) bitácora de jugadas realizadas al mover el héroe y revisar los criterios de éxito.

Un ejemplo de la bitácora de comunicación se muestra en la Figura 17.

X	Y	Qu	From	To	Message	Time	Message_ty	Message_su
			Marina	Jorge	si a la idea de erik	09:10:12 p.m.	Answer	Coordination
			Alfredo	Marina	en D1 obstaculo	09:10:13 p.m.	Comment	Coordination
			Jorge	Alfredo	alfredo da las coordenadas de tus obstaculos para g	09:10:19 p.m.	Question	Coordination
			Alfredo	Marina	D1 obstaculo	09:10:29 p.m.	Answer	Coordination
			Marina	Alfredo	llevo el raton a 1 G	09:10:39 p.m.	Comment	Coordination
			Marina	Erick	llevo a 1 g	09:10:44 p.m.	Comment	Coordination
			Marina	Jorge	llevo a 1 g	09:10:51 p.m.	Comment	Coordination
1	3	1				09:11:01 p.m.		
1	3	1				09:11:06 p.m.		
			Erick	Marina	D4 esta libre!	09:11:20 p.m.	Comment	Coordination
			Jorge	Marina	obstaculos verdes en 2A y 4F marina	09:11:34 p.m.	Comment	Coordination
			Marina	Alfredo	bajo a d2	09:11:36 p.m.	Comment	Coordination
			Marina	Erick	bajo a d2	09:11:41 p.m.	Comment	Coordination
			Alfredo	Marina	las filas son numeros	09:11:44 p.m.	Comment	Coordination
			Marina	Jorge	bajo a d2??	09:11:57 p.m.	Question	Coordination
			Jorge	Marina	anotalas	09:12:11 p.m.	Answer	Coordination
			Marina	Alfredo	no que???	09:12:16 p.m.	Question	Coordination
			Marina	Erick	dice ata que no	09:12:35 p.m.	Answer	Coordination
			Alfredo	Marina	vos pregunta y que cada uno diga si o no	09:12:46 p.m.	Comment	Coordination
			Alfredo	Marina	siiii	09:12:53 p.m.	Comment	Coordination
			Marina	Alfredo	quiero bajar a d2 puedo??	09:13:12 p.m.	Question	Coordination
			Jorge	Alfredo	Alfredo estas vivo	09:13:18 p.m.	Question	Lateral
			Marina	Erick	puedo en d2???	09:13:23 p.m.	Question	Coordination
			Marina	Jorge	puedo en d2?	09:13:31 p.m.	Question	Coordination
			Alfredo	Marina	que marina pregunte y nos respondemos	09:13:33 p.m.	Comment	Coordination

Figura 17 Ejemplo de archivo de registro de la bitácora de comunicación juego TeamQuest

4.1.2. Indicadores escogidos para contrastar resultados frente a los indicadores de SNA propuestos

En [5] se presenta un grupo de 5 indicadores diseñados para evaluar la colaboración aplicable tanto durante el proceso como al final de la misma. Para la definición de cada uno de estos indicadores, el autor tomó como base la estructura de las actividades de aprendizaje colaborativo. Estos indicadores son también enmarcados en base a las dimensiones que componen el modelo de las 3C's identificando los elementos en cuales cada indicador tiene un mayor aporte. Una vez



clasificados en las distintas dimensiones, la comparación se realiza contrastándolos con los indicadores de SNA ya clasificados.

Aplicación de la estrategia

Este indicador intenta medir la habilidad de los miembros del grupo para generar, comunicar y aplicar consistentemente una estrategia compartida para la solución del problema. Este indicador, enmarcado en el modelo de las 3C's, puede ser usado para medir principalmente elementos de comunicación aunque también de coordinación. En el primer caso puede ser usado para inferir la comunicación eficiente, adquisición de compromiso de comportamiento, y autocontrol del grupo cuando se pierde la estrategia planeada. En cuanto a la coordinación, su aporte puede estar en la deducción del nivel de la planificación, sincronización y coordinación del proceso de comunicación. Entonces es clasificado como indicador de la comunicación.

Este indicador se calcula con 20% para el Factor de éxito y 80% para la Aplicación de la estrategia. El Factor de éxito responde a la pregunta ¿el grupo alcanzó el objetivo final? Mientras que la Aplicación de la estrategia es calculada de la siguiente forma: 20% si el equipo mantuvo la estrategia escogida, 30% la calidad de la comunicación de la estrategia, 25% habilidad para mantener la estrategia, 5% otras medidas de calidad.

Cooperación intragrupal

Corresponde a la aplicación de la estrategia ya definida. Si cada miembro del equipo pudo entender cómo cada tarea se relaciona con la consecución del objetivo general, entonces cada quien puede anticipar sus acciones, necesitando menos esfuerzo de coordinación. Este indicador puede ser usado principalmente para deducir elementos de la cooperación como lo son la Efectividad de la colaboración y el Desempeño grupal con respecto a la consecución conjunta e igualitaria de los objetivos. En cuanto a la comunicación, puede ser usado para inferir el nivel de participación, la eficiencia en la comunicación y el comportamiento interpersonal, todas las medidas en base a la cantidad de mensajes estudiados. Entonces es clasificado como indicador de la cooperación.

Este indicador se calcula con el 20% para Ofrecimiento de ayuda y el 80% en la Aplicación de estrategias colaborativas. La primera se mide respecto a los mensajes de apoyo cuando alguien



pide ayuda. Y la segunda se mide principalmente por la comunicación eficiente y fluida entre los miembros del grupo; una buena comunicación la definen como la razón entre los mensajes del trabajo que no son para definir la estrategia sobre el número total de mensajes del trabajo. Nótese que los mensajes del trabajo son aquellos que están directamente relacionados con la consecución del objetivo, es decir mensajes que no están fuera de contexto.

Revisión criterios de éxitos

Mide el grado de compromiso de los miembros del grupo en la utilización de mensajes para revisar detalles relacionados con la revisión de límites, guías, roles, resumen de los resultados de tareas, asignación de ítems de acción, anotaciones de tiempo esperado para la completitud de tareas, asignación de rol, petición de cambios a la agenda, y ubicación de miembros perdidos. A partir del resultado generado se puede analizar el grado de interés hacia la actividad en cuanto a la Responsabilidad de cada actor, tanto individual como grupal. Consecuentemente se clasifica como indicador de cooperación.

Su estudio puede ayudar en la evaluación de elementos de la coordinación como el alcance conjunto de los objetivos y el compromiso de cada actor en el accionar del grupo. Se calcula en base a la razón entre los mensajes de revisión de los conceptos ya mencionado contra el total de mensajes durante la actividad.

Monitoreo

El objetivo es verificar que el grupo se mantiene concentrado en la resolución del problema, los objetivos y los criterios de éxito. Su resultado puede ser útil en la evaluación del elemento de la coordinación: gestionar las dependencias entre actividades para la consecución de un objetivo con el fin de seleccionar una estrategia en base a la cantidad de mensajes utilizados para la misma. Consecuentemente se clasifica como un indicador de coordinación.

Se calcula en base a los mensajes de coordinación que sean para gestionar la estrategia contra los de coordinación, que no lo sean.

Desempeño

Se basa en la evaluación formal del trabajo colaborativo que tiene en cuenta los siguientes



aspectos: calidad, tiempo y trabajo, y se promedian cada una de ellas. La calidad se refiere a qué tan bueno fue el trabajo colaborativo tanto en cantidad de errores, alcance del objetivo y cantidad de acciones realizadas; el tiempo hace referencia al transcurrido en la actividad; mientras que el trabajo, a la cantidad de trabajo realizado que puede ser medido en cantidad de mensajes o acciones realizadas. Puede ser usado en la deducción de elementos de la cooperación como la efectividad de la colaboración y la Responsabilidad de cada actor en el grupo. Entonces es clasificado como un indicador de cooperación.

4.2. Análisis de resultados obtenidos en la experimentación

Los análisis aquí presentados se obtienen de los resultados a partir del procesamiento utilizando el prototipo que implementa el grupo de indicadores propuestos, sobre nueve bitácoras de interacción recolectadas en las experimentaciones realizada en [2], utilizando el juego colaborativo TeamQuest. La población objetivo considerada fue grupos de cuatro estudiantes universitarios escogidos de forma aleatoria para los Grupos 1 al 5 y miembros del equipo de investigación con conocimientos en la teoría de la colaboración y las dinámicas del juego para los Grupos 6 al 9.

En términos generales, el análisis y validación fueron realizados respecto a la siguiente metodología: como método para comprobar la veracidad de los valores de los indicadores, se hizo un análisis manual de las interacciones de los usuarios, recurriendo a la revisión de las bitácoras de interacción. Los resultados de este análisis fueron confrontados con los valores de los indicadores haciendo uso de diferentes tipos de gráficas. Adicionalmente, se utilizó la comparación de resultados de los indicadores propuestos, usando SNA en base al modelo de colaboración de las 3C's, contra otro conjunto de indicadores, planteados considerando la estructura del aprendizaje colaborativo mencionado en [10], ambos resultados obtenidos al aplicar los indicadores sobre la misma actividad colaborativa.

Las características síncronas del entorno y la actividad colaborativa escogidas para validación sugieren un análisis de resultados en distintos intervalos de tiempo del proceso de colaboración. Por lo tanto, la experimentación ofrece la posibilidad de definir diferentes intervalos de tiempo para observar y contrastar la evolución de los indicadores planteados en cualquier momento del proceso en estudio.



A continuación se describe de manera global los resultados obtenidos desde el análisis tanto a nivel de grupo como de actor, enmarcado en el modelo de las 3C's:

4.2.1. Análisis bitácoras de interacción y resultados de los indicadores

Se analizaron las bitácoras de comunicación almacenadas en los archivos de log de TeamQuest describiendo en términos generales el comportamiento de cada grupo en cada etapa de la actividad.

En el estudio directo realizado sobre los mensajes y mecánicas de trabajo recurriendo al log de interacción ofrecido por TeamQuest, de los 9 grupos, se obtuvieron conclusiones generales como las siguientes: los primeros 5 grupos son los más dinámicos en el intercambio de información y con interacciones complejas con presencia de mensajes fuera de contexto. Los grupos 4 y 5 se caracterizaron por la definición, modificación y discusión de estrategias. Apenas los grupos 1, 3, 5, 6 y 9 terminaron el juego de forma exitosa. Del grupo 6 al 9 se observa un comportamiento similar entre ellos, donde no se discute la estrategia, no hay mensajes fuera de contexto, los jugadores no cuestionan la dinámica de juego o estrategias y no todos los jugadores participan en la consecución de los objetivos parciales. Igualmente, cometen una considerable cantidad de errores y sólo los grupos 6 y 9 logran alcanzar el objetivo. En la Tabla 9 se resume este análisis preliminar destacando en color verde las características que normalmente son positivas y en rojo las que son negativas.

Tabla 9 Características de los grupos estudiados

	Características	Grupos								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Nivel de interacción	Media	Alta	Media	Alta	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja
2	Uso de Mensajes Distractores	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
3	Discusión de estrategia	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No
4	Definición de estrategia	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No
5	Objetivo alcanzado	Si	No	Si	No	Si	Si	No	No	Si
6	Envío de Mensajes de ayuda	Medio	Medio	Medio	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
7	Numero de errores	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto
8	Dinámica de preguntas y respuestas	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo



Considerando el análisis manual de las bitácoras presentado, se verificó la validez de los resultados de los indicadores propuestos y sus análisis se encuentran en el Anexo M. A continuación se presenta la comparación de los resultados entre los indicadores escogidos para la comparación y los redefinidos usando SNA, agrupados en las tres clasificaciones del modelo de las 3C's: Comunicación, Cooperación y Coordinación y utilizando métodos matemáticos como varianza, covarianza, desviación estándar.

4.2.2. Indicadores de Comunicación

Estos indicadores tratan de medir el nivel de comunicación que los usuarios tienen entre ellos. Se basa en el estudio de las interacciones dadas en el ambiente de comunicación síncrona (chat) que dispone la herramienta para la coordinación de la actividad colaborativa permitiendo el entendimiento mutuo entre los participantes.

Respuestas

El indicador tomado para la comparación es *Aplicación de la estrategia* con el cual se puede hacer ciertos análisis sobre la comunicación de un grupo. Se calcula con un 20% para la Solución del problema, 80% para la Estrategia, donde el 20% es Definición y uso de la estrategia y el 60% la Discusión de la estrategia. Los grupos obtuvieron puntajes según se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10 Indicador Respuestas contra Aplicación de la Estrategia

	Respuestas	Aplicación de la estrategia
Grupo 1	0,2604	0,4000
Grupo 2	0,2292	0,2000
Grupo 3	0,1979	0,4000
Grupo 4	0,3750	0,7800
Grupo 5	0,2500	0,6400
Grupo 6	0,0000	0,2000
Grupo 7	0,0000	0,0000
Grupo 8	0,0833	0,0000
Grupo 9	0,0000	0,2000
Desviación estándar	0,1383	0,2680
Varianza	0,0191	0,0718

Realizando una comparación de resultados entre Aplicación de la estrategia y el indicador de SNA Respuestas, el grupo más destacado en ambos es el 4, seguido por los grupos 1 y 5. Se observa que



los menores valorados pertenecieron a los grupos del 6 al 9, aunque el máximo valor apenas se acerca a 0,40 en el indicador Respuestas, mientras que el máximo para el análisis externo de Aplicación de la estrategia se acerca a 0,80. Esta diferencia es debida a que el indicador de SNA muestra únicamente aspectos de la comunicación, como lo es las respuestas recibidas, mientras que la Aplicación de la estrategia involucra no solo aspectos del proceso de discusión, sino también, en la coordinación, utilizándose para analizar la concertación, mantenimiento y uso de la estrategia elegida. Esto se hace evidente analizando el grupo 2: cuando se exploró la bitácora de comunicación se concluyó que el grupo presentó una comunicación normal discutiendo y eligiendo la estrategia, la cual no fue la adecuada y posteriormente fue cambiada sin ningún consenso, y al final no alcanzaron el objetivo final; todo esto hizo que el valor del indicador Aplicación de la estrategia disminuyera, mas sin embargo su comunicación mantuvo un valor destacable.

El indicador Respuestas obtiene una desviación estándar de 0,13 lo cual es apenas la mitad de lo presentado para el indicador Aplicación de la estrategia, 0,26 (Tabla 10), por lo que se marca una diferencia considerable entre ambas medidas, la primera con datos muy cercanos entre sí y la otra con valores visiblemente distanciados. Esto se presenta por lo ya explicado en párrafos anteriores.

Comparando directamente los valores de la Aplicación de la estrategia y de Respuestas, obtenemos una covarianza positiva y cercana a cero: 0,0255, lo que quiere decir que tienen una dependencia directa positiva, interpretándose que cuando los valores para uno crecen, para el otro también. Para cada grupo entre los dos indicadores, los datos tienen una diferencia promedio de 0,1655 y una desviación estándar de 0,1170 que es una de las comparaciones más similares presentes para estos análisis.

4.2.3. Indicadores de Cooperación

Los datos considerados para analizar los resultados de los indicadores propuestos para la cooperación son la interacción de cada actor con el héroe, el compromiso de los actores con la actividad medida con la revisión de criterios de éxito y el intercambio de cualquier tipo de mensajes. Por esta razón los análisis de cooperación pueden variar sustancialmente de un indicador a otro.



Función de actividad colaborativa

Este indicador intenta medir la cooperación considerando la cantidad de interacciones o de trabajo realizadas en relación a la cantidad de actores involucrados en un momento dado de la actividad. Tener en cuenta tanto las interacciones como los actores permite verificar que el trabajo no lo esté haciendo una única persona, que la información esté fluyendo entre todos actores y que se asista a quien necesite ayuda.

Particularmente, para el juego de TeamQuest las estrategias requieren que los actores compartan la suficiente información para resolver el laberinto, teniendo cuidado que el ejecutor no vaya a ser sobre cargado con información que lo lleve a cometer errores en los movimientos ni a distraerse.

La Tabla 11 muestra los valores del indicador redefinido con SNA, distinguiendo entre las dos opciones planteadas: la opción 1 no incluye la métrica Conectividad mientras que la opción 2 sí lo hace, además de los valores obtenidos con los dos indicadores de comparación Cooperación intragrupal y Revisión de criterios de éxito. Analizando los valores generados por el indicador CAF en sus dos versiones, se observa que la dispersión de los datos, medida con la covarianza entre ellos, es positiva y cercana a cero: 0,0505; por lo tanto, se interpreta que la variabilidad es mínima. Para este estudio usando TeamQuest, la opción elegida del indicador parece ser irrelevante porque la mayoría de los grupos no presentan relaciones totalmente recíprocas durante cada corte de tiempo estudiado, por lo que la opción 1 es utilizada en los análisis.

Tabla 11 Indicador Función de Actividad Colaborativa contra Cooperación intragrupal y Revisión criterios de éxito

	CAF		Cooperación intragrupal	Revisión Criterios de Éxito
	Opción 1	Opción 2		
Grupo 1	0,3776	0,3629	0,7140	0,2000
Grupo 2	0,3042	0,2913	0,7950	0,2000
Grupo 3	0,3609	0,3290	0,5000	0,2000
Grupo 4	0,6120	0,5938	0,7000	0,5000
Grupo 5	0,6740	0,6532	0,6900	0,8000
Grupo 6	0,0747	0,0523	0,8300	0,2000
Grupo 7	0,0851	0,0634	0,7690	0,2000
Grupo 8	0,0434	0,0304	0,7690	0,2000
Grupo 9	0,0868	0,0608	0,8690	0,2000
Desviación estándar	0,2383	0,2386	0,1071	0,2121
Varianza	0,0568	0,0569	0,0115	0,0450



La primera comparación es con Cooperación intragrupal, que aunque comparte características de Comunicación y Cooperación, puede ser usado para esta comparación, por lo que debe ser analizado cuidadosamente. Definida en función de la entrega de ayuda entre los participantes y la razón entre los mensajes efectivos de trabajo y el total de ellos (lo cual pesa el 80% en su resultado). Es por esta última razón que los cuatro grupos finales obtuvieron una calificación alta como se muestra en la Tabla 11: el hecho de que la mayoría de mensajes enviados allí fueron determinantes para el trabajo hace que la forma de hallar este indicador sea dudosa para grupos con poca actividad total o en donde no haya una participación equitativa. Analizando detalladamente la bitácora de interacción encontramos, por ejemplo, que para el grupo 9, en varias ocasiones, uno de los actores no ejecutor se aislaba de las interacciones con sus compañeros, lo cual es grave cuando se habla de aprendizaje colaborativo y mucho más en entornos como este, donde cada parte de información que tienen los jugadores es valiosa para alcanzar el objetivo. Este comportamiento es penalizado fuertemente en los indicadores propuestos de Cooperación.

Si revisamos algunos datos estadísticos, podemos comprobar lo que acabamos de analizar. La covarianza como medida de dispersión de las series Función de actividad colaborativa y Cooperación intragrupal es $-0,0121$, lo cual es bajo y se interpreta como una dependencia inversa o negativa entre las series. La desviación estándar entre cada grupo de las dos listas de los indicadores Función de actividad colaborativa y Cooperación intragrupal es un poco alto ($0,3162$), se interpreta que los datos para cada grupo tienen una diferencia considerable, la cual ya se ha discutido.

La segunda comparación es contra el indicador Revisión de criterios de éxito el cual es calculado principalmente contando mensajes de revisión de puntajes, tiempo, roles y estado de vida del héroe. Aquel análisis arrojó que los grupos 4 y 5 fueron los más destacados mientras que los grupos del 6 al 9 obtuvieron los valores más bajos, algo similar a lo presentado en el indicador de SNA estudiado en esta sección.

Comparando matemáticamente los resultados del indicador Función de actividad colaborativa y los de Revisión de criterios de éxito obtenemos la covarianza más alta en todos los análisis: $0,0363$



que además es positiva, indicando así que mientras un indicador tienda a crecer, el otro también lo hará. El promedio de desviación estándar entre cada grupo para los dos indicadores es 0,0930 como uno de los valores más bajos obtenidos; es decir, los valores generados por ambos indicadores son muy similares tanto en rango como en proporción entre los valores.

Factor de colaboración

El indicador de comparación es Desempeño, y particularmente estos dos indicadores obtienen valores muy diferentes, ver Tabla 12. Para el indicador Desempeño la mayoría de los grupos obtuvieron resultados favorables por arriba de 0,60, con la excepción de los grupos 2 y 4 los cuales no consiguieron el objetivo final. La diferencia entre los dos indicadores está en que Desempeño es calculado principalmente teniendo en cuenta el éxito o la eficiencia para conseguir los objetivos, mientras que el Factor de colaboración de SNA utiliza los mensajes de trabajo y verifica la equidad de participación de los actores en las tareas de colaboración, lo cual no se presenta en los grupos del 6 al 9 castigando esta ausencia de dinámicas de comunicación.

Tabla 12 Indicador Factor de colaboración contra Desempeño

	Factor de colaboración	Desempeño
Grupo 1	0,5079	0,6000
Grupo 2	0,4096	0,4000
Grupo 3	0,4923	0,6000
Grupo 4	0,4405	0,3200
Grupo 5	0,4652	0,7600
Grupo 6	0,2171	0,7200
Grupo 7	0,1792	0,6800
Grupo 8	0,1305	0,6800
Grupo 9	0,2925	0,7200
Desviación estándar	0,1451	0,1520
Varianza	0,0211	0,0231

Se observa en la Tabla 12 que los resultados de los dos indicadores son dos series de datos muy similares en cuanto a su dispersión (varianza y desviación estándar), es decir la diferencia entre los valores bajos y altos es similar en ambos. La covarianza es -0,0081, se interpreta que las series tienen una dependencia inversa o negativa muy tenue: cuando el Desempeño crece para un grupo el Factor de colaboración disminuye lo cual no debería ocurrir, pero se presenta justificándose en los resultados obtenidos para los grupos del 6 al 9 como ya se ha explicado en los párrafos



anteriores.

4.2.4. Indicadores de Coordinación

La coordinación como un proceso transversal en la actividad colaborativa que permite regular tanto la Comunicación como la Cooperación, debe ser calculada, en lo posible, teniendo en cuenta todos los tipos de acciones presentes durante el proceso de aprendizaje. Por lo tanto, este tipo de indicadores deben incluir información sobre los distintos tipos de mensajes, el peso de cada uno en las dinámicas de conversación, los mensajes para coordinar, la participación equitativa sobre los objetos compartidos (como el héroe) y el compromiso presentado hacia la actividad (medido por la revisión del estado de vida del héroe); variables que pueden llegar a ser difíciles de medir.

Coordinación

El indicador seleccionado para comparación es Monitoreo (ver Tabla 13). Para este caso, la covarianza absoluta entre los dos indicadores es la más baja para todas las comparaciones realizadas 0,0008 expresando que son series poco parecidas pero que conservan una relación directa positiva. El promedio de desviación estándar entre cada grupo es también uno de los más bajos 0,0795 interpretándose que el valor obtenido para un grupo es muy similar en los dos indicadores.

Tabla 13 Indicador Coordinación contra Monitoreo

	Coordinación	Monitoreo
Grupo 1	0,2589	0,2600
Grupo 2	0,1768	0,3400
Grupo 3	0,1679	0,1300
Grupo 4	0,2134	0,3100
Grupo 5	0,1530	0,1200
Grupo 6	0,2431	0,0000
Grupo 7	0,1458	0,0000
Grupo 8	0,1250	0,0700
Grupo 9	0,2361	0,0000
Desviación estándar	0,0480	0,1357
Varianza	0,0023	0,0184



4.2.5. Conclusiones para los análisis

En general, se revisaron los cuatro indicadores de SNA propuestos en el presente trabajo, analizándolos inicialmente considerando el rol de los jugadores, y validando la veracidad de sus resultados en base al análisis manual realizado sobre la bitácora de comunicaciones ofrecida por TeamQuest.

En segunda medida, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos de cada indicador de SNA con por lo menos un indicador de los escogidos para comparación y aplicados sobre la misma actividad, utilizando métodos de observación de patrones como la varianza, desviación estándar y covarianza.

- Los valores esperados para los indicadores de SNA aquí propuestos, dependen de características particulares de la actividad colaborativa sobre la que son aplicados, las conclusiones aquí recogidas están limitadas entonces por el tipo de actividad colaborativa y en nuestro caso puede ser descrita en términos globales como una actividad colaborativa con pocos participantes, síncrona, de etapas definidas con comportamientos o dinámicas de interacción esperados.
- Los indicadores de SNA propuestos permiten identificar patrones o situaciones que el moderador de la actividad y los mismos participantes pueden monitorear observando los resultados de los indicadores en el tiempo, en contraste con los valores esperados, y finalmente esperando que esta información los motive a regular sus interacciones.
- Para el indicador Respuestas de SNA en su versión de actor se concluye que: *el máximo valor del indicador es obtenido cuando el actor tiene el rol de ejecutor*, lo cual es evidenciado en los resultados del análisis de las bitácoras de interacción. Esta conclusión permite al moderador de la actividad estar atento a que esta característica se cumpla para cada cuadrante y si no es el caso, tome medidas orientadas a que se obtengan los valores esperados, es decir el ejecutor reciba el mayor valor del indicador en su cuadrante respectivo.
- Las comparaciones realizadas entre los indicadores Respuestas y Aplicación de la estrategia,



Función de actividad colaborativa y Revisión de criterios de éxito, y Coordinación y Monitoreo fueron las que obtuvieron un mayor nivel de similitud lo cual era lo esperado al haberlos clasificados en las mismas dimensiones del modelo colaborativo.

- Las comparaciones que arrojaron una mayor diferencia fueron entre los indicadores Función de actividad colaborativa y Cooperación intragrupal, y Factor de colaboración y Desempeño. Esta discrepancia se presenta debido al bajo nivel de interacciones y desigualdad en las contribuciones para los grupos del 6 al 9, los indicadores escogidos para comparación, no penalizan o poco tienen en cuenta estas importantes características al momento de medir la colaboración, al contrario, los indicadores definidos con SNA consideran importante estos aspectos por lo que se obtiene un valor más acertado de la colaboración.
- Los indicadores de Comunicación y Coordinación, respuestas de SNA y Coordinación de SNA, obtuvieron valores similares y muy parecidos con sus contrapartes de Comparación, Aplicación de la estrategia y el estudio considerando el Flujo de mensajes general. Los resultados coinciden tanto en su análisis detallado por métrica como con los métodos matemáticos utilizados.
- Los resultados obtenidos discreparon en varias ocasiones en el caso de los indicadores de Cooperación: Función de Actividad Colaborativa en sus ambas versiones y Factor de colaboración, ambos con una covarianza muy cercana a cero, en relación a algunos de sus respectivos datos comparativos, pero finalmente negativa. Esta discrepancia es justificable al tener en cuenta que los grupos 6, 7, 8 y 9 no presentaron datos interesantes para el análisis y generaron datos en cero constantemente, en contraste con los indicadores de comparación Cooperación intragrupal y Desempeño que generaron mejores resultados para estos grupos.
- Para saber el grado de cooperación en una actividad, no basta con tener en cuenta la cantidad de trabajo realizado, sino también aspectos como de qué manera todo el grupo consigue los objetivos grupales o individuales y el equilibrio en la participación de cada uno de los actores. Algunos de estos conceptos son considerados en los indicadores propuestos con SNA al contrario de los indicadores elegidos para comparación, específicamente Cooperación intragrupal, y por esta razón se observan discrepancias en los resultados.



- Conceptos como los distintos tipos de mensajes, el peso o valoración de cada uno en las dinámicas de comunicación, los mensajes de coordinación, la participación equitativa sobre los objetos compartidos y el compromiso presentado hacia la actividad son variables a ser tenidas en cuenta para los indicadores de cooperación. Estas variables que pueden llegar a ser difíciles de medir o simplemente no ser consideradas en cada indicador propuesto; por esta razón los análisis de cooperación varían sustancialmente de un indicador a otro.



CAPITULO V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En resumen el trabajo aquí presentado abordó la evaluación del proceso de colaboración, proponiendo un conjunto básico de indicadores asociados a métricas de SNA que permitieran obtener medidas cuantitativas de los aspectos más relevantes del proceso de aprendizaje colaborativo, se realizó también una validación preliminar de estos indicadores mediante la construcción de un prototipo software que implementara las métricas y los indicadores, y su utilización en una actividad colaborativa. Los resultados obtenidos fueron analizados y confrontados con los resultados obtenidos con otro conjunto de indicadores sobre la misma actividad. A continuación se presentan conclusiones y propuestas de trabajo futuro producto de los resultados obtenidos en cada una de las etapas y experiencias realizadas.

5.1. Conclusiones

- En algunos casos con la utilización de métricas de SNA en los indicadores, se obtienen valores más reales de colaboración que los obtenidos con indicadores que tienen medidas subjetivas, tal es el caso de lo observado en la comparación entre los indicadores Factor de la colaboración contra Desempeño y CAF contra Cooperación intragrupal; se obtuvo valores más acordes a lo observado en el análisis manual de las bitácoras, de lo sucedido en las dinámicas de cooperación con los indicadores definidos mediante métricas de SNA, que con los indicadores de comparación.
- Las métricas de SNA pueden ser utilizadas satisfactoriamente para la definición de indicadores que evalúen el proceso de colaboración en entornos computacionales. La validación por comparación y análisis del conjunto de indicadores propuestos, llevada a cabo y explicada en el capítulo 4, permite afirmar que las métricas escogidas como medidas sustitutas asociadas a los indicadores originalmente seleccionados, proporcionan resultados de los indicadores acordes a los esperados.
- Las salidas entregadas por los indicadores propuestos pueden ser utilizadas como entradas para módulos preferiblemente implementados e integrados a entornos de terceros que decidan utilizar los indicadores de interacción como fuente de reflexión de información de interacción a sus usuarios. El archivo XML de salida proporcionado por el prototipo construido



permite el diseño de distintos tipos de representaciones gráficas a ser utilizados como mecanismos de awareness.

- La evaluación del proceso de colaboración integra variables que hacen muy compleja su efectiva realización, los indicadores asociados a medidas cuantitativas, obtenibles directamente de los datos de interacciones que provea el entorno, constituyen un importante aporte principalmente si se espera sugerir o influenciar en los actores a tomar decisiones orientadas a mejorar la colaboración aún durante el proceso de la actividad.

5.2. Trabajo Futuro

- La metodología utilizada para la integración entre los indicadores de Análisis de Interacción y SNA fue realizada partiendo de la selección de indicadores previamente definidos y escogiendo aquellos que permitieran el reemplazo de sus métricas asociadas por índices o medidas de SNA. Se propone un nuevo método donde el planteamiento de nuevos indicadores se realice partiendo del estudio de los escenarios de interacción que ofrecen en general los ambientes CSCL, y su posible representación mediante grafos, para luego entrar a estudiar potenciales índices de SNA aplicables sobre las representaciones de grafos y su posible inclusión en el planteamiento de indicadores compuestos que analicen el aprendizaje colaborativo.
- Se propone la adición de nuevos indicadores al conjunto base aquí propuesto y su correspondiente adición al prototipo software denominado IASNA, con el propósito de ofrecer otras fuentes de información que complementen los indicadores ya definidos.
- La experimentación y validación realizada constituye uno de varios escenarios posibles de utilización de los indicadores planteados para monitorear el proceso de colaboración, por lo que se propone su utilización variando aspectos como la herramienta colaborativa, el tamaño de los participantes de la actividad, el tipo de actividad sea síncrona o asíncrona, entre otros.
- La relación de resultados de análisis obtenidos desde distintos escenarios de experimentación de aplicación de los indicadores, posibilitaría la definición de patrones esperados en los valores obtenidos por los indicadores dependientes de las características que definan estos escenarios.



La utilidad de estos patrones radica en la posibilidad de ser utilizados para la definición de módulos de recomendaciones para los usuarios de actividades colaborativas, aun durante el proceso.

- La información provista por los indicadores es más útil si es presentada de la manera y en el momento adecuado a los usuarios, por lo tanto se propone trabajos orientados particularmente al diseño de artefactos de awareness o reflexión de información de interacciones, que sean alimentados por los valores de los indicadores planteados y tengan como propósito generar estímulos orientados a que los actores mejoren su colaboración.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Baker, M., Hansen, T., Joiner, R. and Traum, D. 1999. The role of grounding in collaborative learning tasks. Collaborative learning: Cognitive and computational.
- [2] Collazos, C. A. 2003 Una metodología para el apoyo computacional de la evaluación y monitoreo en ambientes de aprendizaje colaborativo. Tesis doctoral. Doctor en Ciencias Mención Computación. Universidad de Chile.
- [3] Coronado, J. M. and Hernandez, U. 2003. Criterios de Usabilidad para la Construcción y Evaluación de Aplicaciones Groupware sobre la Web. Revista Enlace Informático.
- [4] Dillenbourg, P., Baker, M., Blaye, A. and O'Malley, C. 1996. The evolution of research on collaborative learning. Humans and Machine: Towards an interdisciplinary learning science.
- [5] Collazos, C., Guerrero, L., Pino, J. and Ochoa, S. 2002. Evaluating collaborative learning processes. Lecture Notes in Computer Sciences.
- [6] Marcos, J. A., Martínez, A., Dimitriadis, Y. and Anguita, R. 2006. A Role Framework For Interactions Analysis-Based Support Of Collaborative Learning Activities. 12th International Workshop on Groupware: Design, Implementation, and Use, CRIWG.
- [7] Marcos, J. A., Martínez, A., Dimitriadis, Y. and Rodríguez, M. J. 2008. Role-AdaptIA: A role-based adaptive tool for interaction analysis. International Conference of the Learning Sciences ICLS.
- [8] Dillenbourg, P. 1999. What do you mean by 'collaborative learning'? In Collaborative-learning: Cognitive and Computational Approaches Elsevier Science, Inc., P.O. Box 945, University of Geneva, Switzerland.
- [9] Collazos, C. A., Guerrero, L. and Vergara, A. 2001. Aprendizaje Colaborativo: un cambio en el rol del profesor. In Proceedings of the Proceedings of the 3rd Workshop on Education on Computing, Punta Arenas, Chile, November 2001, Punta Arenas, Chile.
- [10] Kagan, S. 1994. Cooperative learning. Kagan Publishing, San Clemente, California.
- [11] Gea, M., Padilla, N., Garrido, J. L. and Gutiérrez, F. L. 2000. Diseño de entornos cooperativos. CEIG 2000, X Congreso Español de Informática Gráfica, (Junio).
- [12] Barros, B. and Verdejo, M. F. 2000. Analysing student interaction processes in order to



- improve collaboration, the DEGREE approach *International Journal of Artificial Intelligence in Education*.
- [13] Hanneman, R. A. and Riddle, M. 2005. *Introduction to social network methods*. University of California Riverside, Riverside, CA.
- [14] Aviv, R., Erlich, Z., Ravid, G. and Geva, A. 2003. Network analysis of knowledge construction in asynchronous learning networks. *Journal of Asynchronous Learning Networks JALN*, (September).
- [15] Nurmela, K., Lehtinen, E. and Palonen, T. 1999. Evaluating CSCL log files by social network analysis. *Proceedings of the 1999 conference on Computer support for collaborative learning*.
- [16] Welser, H., Gleave, E., Fisher, D. and Smith, M. 2007. Visualizing the Signatures of Social Roles in Online Discussion Groups. *The Journal of Social Structure*.
- [17] Sha, L. and van Aalst, J. 2003. An Application of Social Network Analysis to Knowledge Building. In *Annual meeting of American educational research association*, Chicago, USA.
- [18] Martínez, A., Dimitriadis, Y., Rubia, B., Gomez, E., Garrachon, L. and J.A., M. 2002. Studying social aspects of computer-supported collaboration with a mixed evaluation approach. *Computer Support for Collaborative Learning (CSCL) 2002 Conference*, (October 2004).
- [19] Martínez, A., Dimitriadis, E., Gómez, E., Jorrín, B., Rubia, J. and Marcos, J. A. 2006. Studying participation networks in collaboration using mixed methods. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning* 1, 3 (Septiembre).
- [20] Martínez, A. 2003. *Método y modelo para el apoyo computacional a la evaluación en CSCL*. Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid.
- [21] Borgatti, S. P., Everett, M. G. and Freeman, L. C. 2002. *UCINET 6 for Windows*, Columbia, SC: AnalyticTechnologies.
- [22] Dimitracopoulou, A., Kollias, V., Harrer, A., Martínez, A., Petrou, A., Antonio, Y. D. J. and Wichmann, L. B. A. 2006 *State of the art of interaction analysis for Metacognitive Support & Diagnosis*. Technical Report. European Commission, DG INFSO at Rhodes, Greece.
- [23] Collazos, C. A. and Mendoza, J. 2006. *Cómo aprovechar el aprendizaje colaborativo en el aula*. *Educación y Educadores*, (2 Octubre).



- [24] Paz, K. S. 2008. Hacia las comunidades de aprendizaje colaborativo.
- [25] Meier, A., Spada, H. and Rummel, N. 2007. A rating scheme for assessing the quality of computer-supported collaboration processes. International Society of the Learning Sciences, Inc. Springer Science + Business Media.
- [26] Burkhardt, J. M., Détienne, F., Hébert, A. M. and Perron, L. 2009. Assessing the “Quality of Collaboration” in Technology-Mediated Design Situations with Several Dimensions. In Proceedings of the INTERACT 2009, Part II, LNCS 57272009, T.G.e. al. Ed. IFIP International Federation for Information Processing.
- [27] Ellis, C. A., Gibbs, S. J. and Rein, G. L. 1991. Groupware some issues and experiences. Communications of the ACM, (January).
- [28] Fuks, H., Raposo, A. B. and Gerosa, M. A. 2002. Engineering Groupware for E-Business. 1st Seminar on Advanced Research in Electronic Business (EBR'2002), (7 a 8 de Novembro).
- [29] Ogata, H., Matsuura, K. and Yano, Y. 1996. Knowledge Awareness: Bridging between Shared Knowledge and Collaboration in Sharlok. Proceedings of Educational Telecommunications.
- [30] Fuks, H., Raposo, A. B., Gerosa, M. A. and Lucena, C. J. P. 2005. Applying the 3C Model to Groupware Development. International Journal of Cooperative Information Systems (IJCIS) 14, 2-3 (Jun-Sep), 25.
- [31] Fuks, H., Raposo, A. B., Gerosa, M. A. and Lucena, C. J. P. 2004. Applying the 3C Model to Groupware Engineering. PUC-RioInf.MCC01/04, (Janeiro).
- [32] Avouris, N., Margaritis, M. and Komis, V. 2004. Modelling interaction during small-group synchronous problem-solving activities: The Synergo approach. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Designing Computational Models of Collaborative Learning Interaction, ITS2004, 7th Conference on Intelligent Tutoring Systems, Maceio, Brasil, September 2004.
- [33] Bratitsis, T. and Dimitracopoulou, A. 2005. Data Recording and Usage Interaction Analysis in Asynchronous Discussions: The D.I.A.S. System. In Proceedings of the The 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education AIED, Amsterdam, May 2005, C. Choquet, V. Luengo and A. Merceron Eds.



- [34] Bratitsis, T. and Dimitracopoulou, A. 2006. Monitoring and Analysing Group Interactions in asynchronous discussions with the DIAS system. In Proceedings of the CRIWG 2006, 12th International Workshop on Groupware, GRIWG2006, Groupware: Design, Implementation and Use, Medina Del Campo, Spain, 17-21 Sept. 2006, Y. Dimitriadis, I. Zigurs and E. Gomez-Sanchez Eds.
- [35] Fesakis, G., Petrou, A. and Dimitracopoulou, A. 2004. Collaboration Activity Function: An interaction analysis tool for Computer Supported Collaborative Learning activities. In Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'04), Joensuu, Finland, August 30-September 01 2004.
- [36] Gassner, K., Jansen, M., Harrer, A., Herrmann, K. and Hoppe, H. U. 2003. Analysis Methods for Collaborative Models and Activities. Computer Support for Collaborative Learning CSCL 2003.
- [37] Benta, I. M. 2003. Agna, Cork: University College Cork, Ireland.
- [38] Matiello, P., Muise, C., Fadley, S. and Kovacic, T. 2010. python-graph - A library for working with graphs in python. [Online]. Available at: <http://code.google.com/p/python-graph/>. [Accessed: March, 2010].
- [39] Hugunin, J. 2009. NumPy. [Online]. Available at: <http://numpy.scipy.org/>. [Accessed: January, 2010].
- [40] Ortiz, J., Vallejo, F. A., Collazos, C. A. and Padilla Zea, N. 2010. IASNA - A module to perform Interaction Analysis using SNA Methods. [Online]. Available at: <http://code.google.com/p/iasna/>. [Accessed: March, 2010].
- [41] Martínez, A., Guerrero, L. A. and Collazos, C. A. 2004. A model and a pattern for the collection of collaborative action in CSCL systems. The 2nd International Workshop on Designing Computational Models of Collaborative Learning Interaction, (August 31).
- [42] Gallardo T., T., Rojas A., R., Guerrero, L. A. and Pino, J. A. 2002. TEAMQUEST: un juego educativo para la enseñanza y evaluación del proceso de colaboración.