# Algoritmos eficientes para problemas de grafos



Universidad
Nacional
de Quilmes
Roque Sáenz Peña 352 // Bernal
Buenos Aires // Argentina
t.: (+41 11) 4365 7100
f.: (+54 11) 4365 7101
info@unq.edu.ar

# Presentación
# Proyecto de Investigación

***Título: Algoritmos eficientes para problemas de grafos***

**Director: Francisco Soulignac**

**Codirector:**

**CONVOCATORIA UNQ 2015**

Universidad Nacional de Quilmes

**Secretaría de Investigación**
**Presentación de Proyecto de Investigación - 2015**

*Completar el formulario en todos sus puntos sin borrar ni modificar ningún campo y entregarlo a la Secretaría de Investigación de la UNQ.*

*La propuesta de nuevo Proyecto deberá cumplir con los requisitos establecidos en el Reglamento para Subsidios de Investigación aprobado por Resolución (CS) Nº 107/15.*

1. **Título del Proyecto:** Algoritmos eficientes para problemas de grafos

2. **Fecha de inicio:** 01 de mayo de 2015 **Fecha de finalización:** 30 de abril de 2017

3. **Director y codirector:**

| Función | Nombre Completo | Área/Disciplina | E-mail |
|---|---|---|---|
| Director | Francisco Juan Soulignac | Computación | francisco.soulignac@unq.edu.ar |
| Codirector | | | |

4. **Radicación:**

**a) Departamento** (*Según el Art. 11º del Reglamento de Subsidios para Investigación, los Proyectos de Investigación deberán estar radicados en el Departamento de pertenencia de su Director).*

Departamento de Ciencia y Tecnología

Aval del Director o Vicedirector del Departamento consignado (firma y aclaración):

**b) Instituto/Centro/Laboratorio/Observatorio/Unidad de Investigación** (*si corresponde*)**:**

5. **Resumen del Proyecto de Investigación:**

**a) Resumen** *(Hasta 400 palabras que deben incluir enfoque, objetivos, metodología, resultados e impacto esperado del proyecto)*

El objetivo central del proyecto es diseñar algoritmos eficientes para problemas de grafos, previo estudio de su tratabilidad. Nos centramos, en particular, en los problemas de coloreo y transversal en hipergrafos de intersección y en el problema de diseño de redes. Asimismo, estudiamos distintas clases de grafos, enfocándonos en los problemas de reconocimiento, certificación y representación. El objetivo es poder estudiar los problemas combinatorios sobre las clases estudiadas, aprovechando sus particularidades.

Para el diseño de los algoritmos, utilizamos distintos enfoques metodológicos. Cuando el problema en cuestión es tratable, proponemos desarrollar algoritmos con una complejidad asintótica menor a la conocida actualmente. Para ello, estudiamos las propiedades estructurales de los grafos considerados que permiten hacer un uso eficiente de los recursos, y diseñamos algoritmos y estructuras de datos específicas para estos problemas. Cuando el problema es intratable, el objetivo es diseñar algoritmos eficientes que brinden mejores soluciones a las ya conocidas en un tiempo comparable. En este proyecto consideramos dos técnicas conocidas para los problemas intratables. La primera es el uso de metaheurísticas que exploren inteligentemente el espacio de soluciones factibles. La dificultad de diseñar un algoritmo metaheuristico está en decidir cómo se explora el espacio, y cómo se implementa eficientemente cada algoritmo que lo compone. La segunda es la aplicación de algoritmos del estilo branch-and-bound (branch-and-cut, branch-and-price, etc), en las que se inspecciona un árbol de búsqueda. La dificultad en este caso está en cómo resolver cada nodo del árbol (aplicando heurísticas y relajaciones lineales) y en decidir el orden en el que se procesan los mismos a fin de acotar el espacio de búsqueda usando la menor cantidad de tiempo posible. Esta técnica requiere la formulación de un modelo de programación lineal entera que define el espacio de búsqueda.

Finalmente, también consideramos la tratabilidad de los problemas en cuestión, que es un paso previo necesario para determinar qué técnica conviene aplicar para resolver un problema.

Además del avance en el estado del arte en los problemas estudiados, esperamos conformar un grupo de estudio de temas de investigación operativa, particularmente en el estudio de algoritmos en grafos. Esperamos una repercusión positiva en la formación de los alumnos de grado de la incipiente Licenciatura en Desarrollo de Software en un tema particularmente útil para el sector productivo.

**b) Palabras clave** *(consignar las palabras clave del proyecto) GRAFOS, PROBLEMAS DE OPTIMIZACION, PROBLEMAS DE RECONOCIMIENTO, ALGORITMOS EFICIENTES, METAHEURISTICAS, TRATABILIDAD, PROGRAMACIÓN LINEAL.*

**c) Tipo de investigación** *(marcar según corresponda)*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Básica* | *X* | *Aplicada* | | *Experimental* | |

**d) Área del conocimiento** *(Marcar el área de conocimiento del proyecto, elegir sólo una)*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Administración* | | *Física* | | *Ingeniería Petrolera* | |
| *Agronomía* | | *Geofísica* | | *Ingeniería Química* | |
| *Antropología* | | *Geografía* | | *Ingeniería Textil* | |
| *Arquitectura* | | *Geología* | | *Lingüística* | |
| *Astronomía* | | *Historia* | | *Literatura, Filología y Bellas Artes* | |
| *Biblioteconomía y Archivonomía* | | *Información* | | *Matemática* | |
| *Biología* | | *Ingeniaría Mecánica* | | *Medicina* | |
| *Ciencia Política y Administración Pública* | | *Ingeniaría Minera* | | *Medicina Veterinaria* | |
| *Ciencias de la Salud* | | *Ingeniería Aeronáutica* | | *Oceanografía* | |
| *Contabilidad* | | *Ingeniería Civil* | | *Odontología* | |
| *Demografía* | | *Ingeniería de Comunicaciones, Electrónica y Control* | | *Pesca* | |
| *Derecho y Jurisprudencia* | | *Ingeniería Eléctrica* | | *Psicología* | |
| *Economía* | | *Ingeniería Industrial* | | *Química* | |
| *Educación* | | *Ingeniería Marina y Portuaria* | | *Sociología* | |
| *Farmacia* | | *Ingeniería Marina y Portuaria* | | *Zootécnica* | |
| *Filosofía* | | *Ingeniería Nuclear* | | *Otras. Especificar (Computación)* | *X* |

**e) Objetivo Socioeconómico** *(Marcar el campo de aplicación del Proyecto)*

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Energía (Producción)* | | *Agropecuario (Producción y Tecnología)* | |
| *Espacio (Exploración y Explotación)* | | *Industrial (Producción y Tecnología)* | |
| *Defensa y Seguridad* | | *Desarrollo Socioeconómico y Servicios* | |
| *Medio Terrestre (Exploración y Explotación)* | | *Desarrollo de la Educación la Ciencia y la Tecnología* | |
| *Salud Humana (Desarrollo, Protección y Mejoramiento)* | | *Promoción General del Conocimiento* | *X* |
| *Ordenamiento Territorial* | | *Otros. Especificar (……….)* | |

## 6. Propuesta de investigación y objetivos (hasta 2 carillas)

*Enunciar claramente el problema de planteado y los objetivos de la investigación.*

<u>Objetivos generales</u>

Los *grafos* son estructuras simples para representar relaciones matemáticas, que se usan para modelar distintos problemas en disciplinas tan variadas como las ciencias sociales [20; 26], la economía [15], la computación [4], la genética [2], la filosofía [9][1] y la recolección de basura [20], entre tantas otras. Formalmente, un grafo es un par *(V, E)* conformado por un conjunto de *vértices V* y un conjunto de *aristas E*, donde *E* es simplemente una relación simétrica en *V*. La *teoría algorítmica de grafos* es una fuente inagotable de problemas computacionales con aplicaciones prácticas.

Uno de los aspectos fundamentales de un algoritmo es su *eficiencia*, i.e., qué cantidad de recursos (tiempo, espacio, dificultad de implementación, etc) consume. De acuerdo a la eficiencia temporal de los algoritmos que lo resuelven, un problema puede ser tratable o intratable[2]. Un problema es *tratable* cuando puede resolverse con una cantidad *polinomial* de recursos (en función del tamaño de la entrada), mientras que es *intratable*[1] cuando es *difícil* (o *completo*) para una clase de complejidad superior[3] a *P* [8]. La creencia popular es que no existen algoritmos que resuelvan problemas intratables en un tiempo razonable para todos los datos de entrada. Una gran cantidad de problemas de grafos son intratables [8].

En este proyecto buscamos diseñar algoritmos eficientes para problemas de grafos. Por *eficiente* no nos referimos a polinomiales, sino a competitivos de acuerdo al estado del arte. Además, analizamos también la tratabilidad de los distintos problemas que estudiamos, a fin de decidir cuál es la mejor forma de encarar su resolución algorítmica.

Objetivos particulares

Abordamos nuestro estudio desde dos enfoques ortogonales que se relacionan. Por un lado analizamos distintos problemas de optimización en grafos, y por el otro estudiamos distintas clases de grafos. Si bien presentamos estos enfoques en forma aislada, ambos están relacionados y se retroalimentan, ya que es común restringir el estudio de los problemas de optimización a ciertas clases particulares, y las propiedades de ciertas clases particulares muchas veces pueden generalizarse a un problema menos restringido. Los problemas y las clases que tratamos se discuten a continuación.

**Problemas de grafos.** En este proyecto nos proponemos a estudiar dos problemas:
1. coloreo y transversales en hipergrafos de intersección. Los hipergrafos son una generalización de los grafos en los que cada *(hiper)arista* puede relacionar un conjunto de vértices. El problema de *coloreo para hipergrafos* consiste en pintar los vértices de forma tal que toda hiperarista tenga dos vértices de distinto color, mientras que el problema de *transversal* requiere encontrar un conjunto de vértices que toque a todas las hiperaristas. El coloreo de hipergrafos surge, por ejemplo, al verificar si una formula proposicional admite una valuación en la que cada cláusula tenga al menos un literal verdadero y uno falso; si cada vértice representa una variable y cada hiperarista una cláusula, queremos hallar un 2-coloreo. Por otra parte, el problema de transversal permite encontrar un representante de cada hiperarista; si las hiperaristas representan comunidades (e.g., cliques), garantizamos que todas las comunidades estén representadas. Los problemas de coloreo y transversales están ligeramente relacionados [1; 12], y ambos problemas son NP-completos [8].
En este proyecto nos proponemos estudiar los problemas de coloreo y transversal sobre ciertos hipergrafos de intersección. Dado un grafo *G* y un tipo de estructura *T* (e.g., clique, biclique, estrella, etc), consideramos los problemas de coloreo y transversal en el hipergrafo de intersección de la familia de *T*'s maximales de *G*. Vale la pena observar que estos problemas donde el hipergrafo está implícito no son NP-completos, salvo que la jerarquía polinomial colapse en NP [10; 16].
2. diseño de redes con requisitos de supervivencia. El problema de diseñar una red (digrafo) consiste en elegir un subconjunto de enlaces (aristas de un grafo soporte; e.g., red de fibra óptica) que conecten una red de nodos (vértices) de forma tal que todos los nodos estén conectados en forma directa o indirecta. Uno de los objetivos al diseñar una red es que la comunicación sea eficiente, para lo cual conviene reducir la distancia[4] entre cualquier par de nodos. Además, uno espera que la red sea robusta, i.e., que pueda sobrevivir a una cierta cantidad de fallas en los enlaces, sin que esto afecte significativamente la eficiencia. Un diseño común para este problema consiste en elegir los enlaces

1 El trabajo de Goodman no menciona la teoría de grafos, pero su problema de percepción corresponde una transformación de grafos; ver [22].

2 Los problemas intratables no son necesariamente no tratables, ya que no sabemos si $P = NP$ o no.

3 Por superior nos referimos a una clase que contiene estrictamente a P cuando P ≠ NP.

4 El término *distancia* es genérico, se puede referir a la distancia geográfica, a la cantidad esperada de información transmitida, a la latencia de una red subyacente, etc.

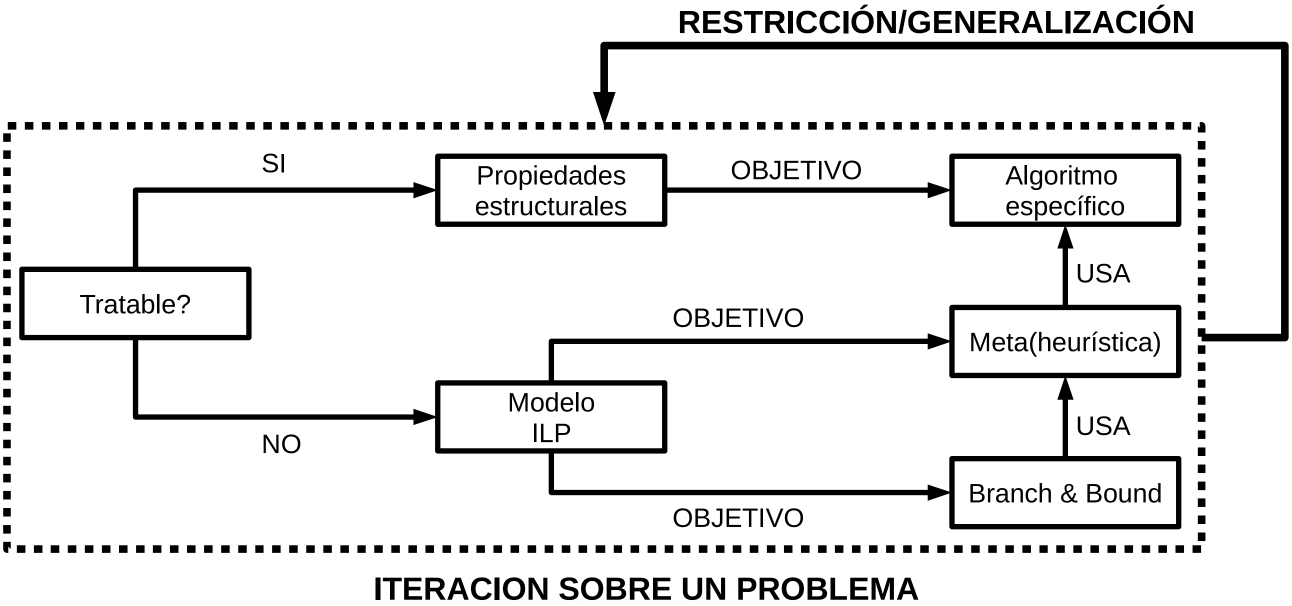
de forma tal que la red quede partida en ciclos de longitud acotada [11]. El problema general de minimizar el costo de particionar un digrafo en ciclos es intratable (NP-completo) [25]. En este proyecto estudiamos distintas variantes para este problema.

**Clases de grafos.** En este proyecto nos enfocamos también en el estudio de distintas clases de grafos, con el objetivo de resolver los problemas de *reconocimiento*, *certificación* y *representación* asociados. Dada una propiedad *P*, la clase de grafos $\mathscr{G}(P)$ es la familia de todo los grafos que satisfacen *P*. El *problema de reconocimiento* para $\mathscr{G}(P)$ consiste en determinar si un grafo input *G* pertenece a $\mathscr{G}$(P). Como en cualquier problema de decisión, hay dos respuesta posibles (SI o NO). Esta respuesta no es del todo útil ya que no explicita el porqué del resultado. El problema de *certificación* consiste en exhibir un *testigo* que garantice que la respuesta es correcta. De esta forma, el usuario puede a. utilizar el testigo para sus propósitos y b. *autenticar* que la respuesta dada es correcta, a pesar que el programa pueda contener errores [17].
En este proyecto estudiamos distintas clases de grafos que caen dentro de dos grandes categorías. Por un lado, grafos que admiten representaciones particulares, que pueden ser usadas como testigos de respuestas positivas en el problema de certificación. Además, estas representaciones pueden ser útiles cuando se resuelven problemas de optimización sobre estas clases (ver Sección 7). Por otra parte, clases de grafos hereditarias, que son aquellas que admiten caracterizaciones por subgrafos inducidos prohibidos. Estos subgrafos prohibidos pueden usarse como testigos de respuestas negativas en el problema de certificación. Obviamente, estas dos grandes categorías se intersecan, y muchas de las clases estudiadas pertenecen a ambas categorías.
En particular, nos enfocamos en las subclases de los grafos *arco-circulares* [3], los de baja *arboricidad* [18] y los que definidos por subgrafos inducidos prohibidos de pocos vértices [3].

## 7. Estrategia de abordaje y metodología (hasta 2 carillas)

*Describir la estrategia de abordaje del problema y la metodología a emplear, señalando los aspectos innovadores del enfoque.*

El objetivo central de este proyecto es diseñar algoritmos eficientes para problemas de grafos. Podemos pensar que el proyecto se desarrolla de forma iterativa, donde en cada iteración se considera un problema en particular[5]. Un *problema* consiste en una especificación formal que explicita la *instancia*, indicando cuáles son los parámetros (i.e., datos de entrada) junto con sus restricciones y estructura de representación subyacente, y el resultado esperado para cada instancia. En cada iteración, se consideran dos etapas: la primer consiste en determinar la tratabilidad del problema; la segunda es el desarrollo de el/los algoritmos propiamente dichos. Este proceso se ejemplifica en el siguiente diagrama que se explica en a continuación.




5 Esta forma de ver el proceso es conceptualmente correcta, aunque en la práctica uno considere más de un problema a la vez, utilizando distintas representaciones, viendo distintas restricciones, etc.

En la primer etapa, el objetivo es estudiar la tratabilidad del problema en cuestión. Esto significa determinar si el problema es polinomial, o si es completo o difícil para alguna clase superior a *P*. Vale aclarar que los problemas que tratamos pertenecen a la *jerarquía polinomial* [8]. Si bien nuestro objetivo principal es el desarrollo de algoritmos eficientes, esta etapa es fundamental para decidir qué herramientas y metodologías vamos a aplicar para diseñar dichos algoritmos. Muchas veces, esta etapa se resuelve con una simple revisión bibliográfica; otras veces, requiere de una investigación profunda de nuestra parte (e.g. [10; 23]). El desarrollo de la segunda etapa depende de si el problema es tratable o intratable.

Perseguimos dos objetivos particulares para los problemas intratable[6]. Por un lado, buscamos algoritmos que brinden soluciones *buenas*, i.e., soluciones que ofrezcan buenos resultados en la práctica. Por el otro, tratamos de incrementar el tamaño de las instancias que pueden ser resueltas en forma óptima. Obviamente, estas estrategias son factibles para problemas de optimización; para los problemas de decisión, debemos definir algún tipo de parámetro cuyo óptimo responde el problema de decisión. Existen muchas técnicas para resolver problemas intratables. Nosotros consideramos dos: el desarrollo de *heurísticas* y *metaheurísticas* [24] (e.g. [6]) y el desarrollo de algoritmos exactos del tipo *branch-and-bound* [27] (e.g. [5; 7]) y sus variantes (branch-and-cut, branch-and-price, etc). El objetivo de una (meta)heurística es explorar inteligentemente el espacio de soluciones factibles a fin de encontrar una buena solución en un tiempo razonable. Cómo recorrer el espacio de búsqueda, cómo mantener las soluciones que se consideran, cómo implementar los algoritmos que realizan eficientemente la búsqueda son algunos de los desafíos a la hora de diseñar un algoritmo (meta)heurístico. Por su parte, la técnica de *branch-and-bound* sirve para encontrar la solución exacta; si bien el algoritmo no es polinomial en peor caso, se puede interrumpir en cualquier momento obteniendo buenas soluciones. El objetivo es recorrer un árbol de decisiones, manteniendo ciertas cotas inferiores y superiores que permiten podar el árbol. Qué variables considerar en cada paso y cómo encontrar buenas cotas (usando heurísticas y relajaciones lineales) son algunos de los desafíos de este tipo de algoritmos. Para evaluar la bondad de los algoritmos obtenidos, se comparan los resultados con los de los mejores algoritmos conocidos hasta el momento. Asimismo, para cada instancia se busca acotar el *gap* entre la solución obtenida y la óptima (aunque su valor sea desconocido). Para el desarrollo de estos algoritmos, muchas veces nos vemos obligados a presentar nuevos modelos de programación lineal entera (ILP) que guían los algoritmos aplicados (e.g., [7; 19]).

Cuando el problema es tratable, en teoría disponemos de un algoritmo polinomial para resolver el problema. El objetivo es, pues, diseñar algoritmos con una complejidad asintótica inferior[7] al del mejor algoritmo conocido. Para ello, además de diseñar estructuras de datos apropiadas, tenemos que desarrollar resultados teóricos que se traduzcan en algoritmos (e.g. [13]). Esto es particularmente cierto cuando queremos resolver un problema sobre una clase de grafos particular, ya que la idea es explotar las características de la misma. Qué propiedades resultan útiles a la hora de desarrollar un algoritmo es una pregunta de difícil respuesta sino imposible. Sin embargo, nuestro enfoque está siempre puesto en las propiedades que ayuden a mejorar la complejidad algorítmica (e.g. [21]) y no en propiedades generales de teoría de grafos que, a priori, no conduzcan a ningún algoritmo.

Por otra parte, consideramos dos técnicas generales y usuales para cualquier problema: la restricción y la generalización. Es común que el grafo de entrada no sea un grafo general, sino que el mismo tiene alguna particularidad[8]. La *restricción* consiste en establecer qué condiciones adicionales tiene el problema. Las propiedades adicionales se pueden explotar para mejorar la eficiencia de los algoritmos (e.g. [14]). Esta estrategia tiene sentido incluso cuando la restricción es más fuerte de lo que ocurre en todas las instancias a considerar, ya que permite una eventual división en subproblemas dentro de una heurística. La *generalización* es el proceso inverso de la restricción. En este caso, el objetivo es generalizar un algoritmo eficiente a un conjunto de instancias más grandes. En general esta técnica se aplica sobre ciertas propiedades que fueron descubiertas para la clase restringida (e.g., [14; 22]). La restricción y la generalización determinan nuevos problemas para los cuales aplicamos una nueva iteración de las dos etapas mencionadas.

Si bien estas son las técnicas que consideramos al trabajar con los distintos problemas, es imposible aplicar cada una de ellas a todos los problemas, por cuestiones de tiempo y recursos humanos. Sin embargo, estas son las técnicas potenciales y su aplicación depende de los resultados que se vayan

6 Y pertenece a NP o coNP; para clases superiores por el momento no consideramos el diseño de algoritmos.

7 O al menos inferior considerando algún parámetro, como la densidad del grafo, su *h-index*, etc.

8 Por ejemplo, el problema de coloreo es polinomial cuando los vértices representan horarios continuos.

obteniendo durante el transcurso del proyecto. Vale destacar que las técnicas empleadas están fuertemente ligadas; al diseñar una (meta)heurística, es esencial que los algoritmos sean eficientes; al acotar el valor de un nodo en el árbol de branch-and-bound conviene aplicar una buena heurística; etc. Los integrantes del proyecto nos especializamos en algunas de las herramientas; esperamos que el proyecto promueva una colaboración fluida entre los integrantes.

## 8. Plan de actividades y cronograma (hasta 2 carillas)

Inicialmente, planteamos nuestra investigación como un trabajo teórico. Como en cualquier investigación teórica, es difícil predecir cuándo se obtendrán los resultados y cuáles serán estos. Para el problema de diseño de redes con supervivencia, el objetivo actual es diseñar algoritmos heurísticos. En cambio, para el problema de coloreo y transversal nos estamos concentrando inicialmente en descubrir qué dificultad tienen estos problema para distintas clases. Por otra parte, estamos estudiando el problema de certificación de los grafos arco-circulares propios. De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos intentar profundizar algún camino, o considerar otras clases de grafos y problemas que surjan naturalmente del trabajo realizado.

Vale la pena remarcar que este proyecto pretende consolidar un grupo de muy reciente formación dentro de la Universidad. Si bien todos los integrantes del proyecto trabajamos en problemas de grafos, nuestros enfoques son complementarios. En particular, los temas de estudio al inicio del proyecto serán una continuación de las labores que estamos desarrollando previo al inicio del proyecto. Esperamos que de la interacción surjan nuevas ideas que combinen los enfoques en los diferentes problemas. Para fomentar esta interacción, esperamos coordinar un seminario periódico de investigación en el que se expongan los avances obtenidos. Conforme se vayan produciendo resultados los mismos serán comunicados a través de conferencias y publicaciones de la especialidad.

El plan de actividades usual para el desarrollo de un algoritmo se basa en los siguientes pasos:

1. La revisión y lectura de la bibliografía pertinente del tema.
2. La formulación de nuevas propiedades que sean aplicables para el desarrollo de los distintos algoritmos.
3. La demostración de dichas propiedades.
4. El desarrollo de los algoritmos junto con las estructuras de datos que lo soportan.
5. El análisis de la complejidad de los componentes que conforman el algoritmo.
6. La implementación de los algoritmos en algún lenguaje de programación apropiado.
7. El análisis experimental de la eficiencia y su comparación con los algoritmos existentes. Esto requiere de ciertos ajustes experimentales no triviales.
8. La búsqueda de estrategias alternativas para los cuellos de botella y la reformulación de los algoritmos que no aportan un buen *trade-off* entre los resultados obtenidos y su eficiencia.

No todos los pasos anteriores aplican de la misma forma a los distintos problemas. De acuerdo al enfoque utilizado, alguno de ellos son innecesarios. Por ejemplo, cuando el objetivo es mejorar la complejidad asintótica de un problema polinomial, el análisis experimental es deseable pero no obligatorio. En cambio, al desarrollar un algoritmo (meta)heurístico, la formulación de propiedades algorítmicas tiene un menor impacto que la implementación del mismo. Asimismo, el tiempo que se le dedica a cada tema depende de los pasos que sean tomados.

### Referencias usadas en las secciones 6 a 8

Las publicaciones [5-7; 10; 13; 14; 19; 21-23] son de integrantes del grupo y se encuentran disponibles para su consulta en el Anexo II.

*[1]* Bacsó, G y Tuza, Z., *Clique-transversal sets and weak 2-colorings in graphs of small maximum degree*, Discrete Math. Theor. Comput. Sci. 11(2): 15-24, 2009.
*[2]* Benzer, S., *On the topology of the genetic fine structure*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 45(11): 1607-1620, 1959.
*[3]* Brandstädt, A. et al., *Graph classes: a survey*. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 1999.
*[4]* Chaitin, G., *Register allocation & spilling via graph coloring*, ACM Sigplan Notices 17(6): 98-101, 1982.
*[5]* Coll, P. et al., *A linear programming approach for adaptive synchronization of traffic signals*, Int. Trans. Oper. Res. 20(5): 667-679, 2013.
*[6]* Delgadillo, R. y Loiseau, I., *A Genetic Algorithm Based Heuristic for the Design of p-Cycle Networks*, VIII ALIO/EURO Workshop on Applied Combinatorial Optimization, 2014.

*[7]* Factorovich, P. et al., *Pickup and Delivery Problem with Incompatibility Constraints*, Proceedings of the 10th Cologne-Twente Workshop on graphs and combinatorial optimization., 2011.
*[8]* Garey, M. y Johnson, D., *Computers and intractability*. W. H. Freeman and Co., 1979.
*[9]* Goodman, N., *The Structure of Appearance*. Springer Netherlands, 1977.
*[10]* Groshaus, M et al., *The star and Biclique Coloring and Choosability problems*, J. Graph Algorithms Appl. 18(3): 347-383, 2014.
*[11]* Grover, W. et al., *Design of Survivable Networks Based on p-Cycles*. En: Resende, M. & Pardalos, P. (Ed.), *Handbook of Optimization in Telecommunications*, Springer US, pp. 391-434, 2006.
*[12]* Harary, F., *Graph theory*. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Mass.-Menlo Park, Calif.-London , 1969.
*[13]* Lin, M. et al., *Arboricity, h-index, and dynamic algorithms*, Theoret. Comput. Sci. 426/427: 75-90, 2012.
*[14]* Lin, M. et al., *Normal Helly circular-arc graphs and its subclasses*, Discrete Appl. Math. 161(7-8): 1037-1059, 2013.
*[15]* Luce, R., *Semiorders and a theory of utility discrimination*, Econometrica 24: 178-191, 1956.
*[16]* Marx, D, *Complexity of clique coloring and related problems*, Theoret. Comput. Sci. 412(29): 3487-3500, 2011.
*[17]* McConnell, R. et al., *Certifying Algorithms*, Comput. Sci. Rev. 5(2): 119-161, 2011.
*[18]* Nash-Williams, C., *Decomposition of finite graphs into forests*, J. London Math. Soc. 39: 12, 1964.
*[19]* Pecorari, A. et al., *Models for p-Cycle Network Design*, Eighth Triennial Symposium on Transportation Analysis, 2013.
*[20]* Roberts, F., *Graph theory and its applications to problems of society*. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 1978.
*[21]* Soulignac, F., *Fully Dynamic Recognition of Proper Circular-Arc Graphs*, Algorithmica 71(4): 904-968, 2015.
*[22]* Soulignac, F., *Bounded, minimal, and short representations of unit interval and unit circular-arc graphs*, CoRR abs/1408.3443, 2014.
*[23]* Soulignac, F. y Sueiro, G., *NP-hardness of the recognition of coordinated graphs*, Ann. Oper. Res. 169: 17-34, 2009.
*[24]* Talbi, E., *Metaheuristics: from design to implementation*. John Wiley & Sons, 2009.
*[25]* Thomassen, C., *On the complexity of finding a minimum cycle cover of a graph*, SIAM J. Comput. 26(3): 675-677, 1997.
*[26]* Wasserman, S. y Faust, K., *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge university press, 1994.
*[27]* Wolsey, L., *Integer programming*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998.

## 9. Impacto del Proyecto

*Desarrollar brevemente el impacto esperado de los resultados de la investigación en las capacidades institucionales de la UNQ (académica, de extensión, de vinculación y transferencia y en la formación de recursos humanos).*

**Impacto académico**

Los temas propuestos tienen un impacto significativo en el estado del arte. El problema de biclique-coloreo es incipiente y ya se cuentan tres publicaciones[9] en revistas y conferencias prestigiosas del área. La razón es que se relaciona con problemas clásicos y los avances de ambas áreas se retroalimentan. El diseño de redes es un tema importante dentro del mundo de la optimización combinatoria debido a sus aplicaciones prácticas; sin embargo, algunos problemas de optimización asociados están poco estudiados. El análisis de clases de grafos es un área más tradicional y en la que, sin embargo, se pueden aportar nuevos algoritmos con enfoques innovadores que permiten tener una eficiencia aún mayor. En particular, hay un gran interés en el desarrollo de algoritmos certificados y en algoritmos que funcionen en forma reactiva a cambios.

**Impacto sobre el sector sector productivo**

Si bien en este proyecto nos enfocamos principalmente en problemas y modelos teóricos, los mismos son simplificaciones que surgen de problemas reales con alto impacto en el sector productivo y de investigación. Por lo tanto, es de esperar que las mejoras que se obtengan en el proyecto pueden ser propagadas a los correspondientes problemas reales.

Por otra parte, el entrenamiento en estos temas es de vital importancia para su futura implementación en el sector productivo. De hecho, dos de los integrantes del proyecto han aplicado estas técnicas en el sector productivo con cierto éxito[10], mientras que otro integrante se encuentra desarrollando un sistema actualmente.

**Impacto en la formación de recursos humanos**

Tres de los integrantes principales de este proyecto se encuentran realizando sus estudios doctorales con distinto grado de avance. Esperamos poder incorporar alumnos de la incipiente Licenciatura en

9 El problema fue introducido por miembros del grupo en [10] y fue estudiado en una tesis doctoral en Brasil.
10 El Dr. Soulignac desarrolló una metaheurísitca de tipo Tabú Search para resolver el problema de corte de chapas, comercializado por la empresa Megevand Soft. El Lic. Factorovich participó de un proyecto para la optimización de los semáforos en la Ciudad de Buenos Aires para la empresa Autotrol; el mismo hace uso de un modelo de programación entera.

Desarrollo de Software (LDS) que deseen realizar sus trabajo de grado y/o eventual doctorado en los temas del grupo.

Por otra parte, el proyecto sirve para formar un grupo nuevo de profesores que se unieron a la Universidad recientemente. Además, al día de hoy, no hay ningún grupo de investigación dentro de la Universidad que se dedique a los temas planteados, que tienen un alto impacto incluso fuera del ámbito académico.

## 10. Composición del equipo de investigación

### a) Organización del Equipo

*Describir la organización del equipo de investigación. En el caso de incluir integrantes no pertenecientes a la UNQ, describir y justificar su participación en el Proyecto.*

El grupo de trabajo está conformado por cuatro integrantes: un investigador formado y tres alumnos de doctorado con distintos avances en sus estudios. Es un grupo de reciente conformación con investigadores jóvenes. A continuación justificamos la inclusión de cada uno de sus miembros.

El grupo está liderado por el Dr. Francisco Soulignac, profesor adjunto de la planta ordinaria (2015[11]) e investigador asistente del CONICET desde 2012. Principalmente se dedica al desarrollo de algoritmos en grafos, concentrándose en problemas polinomiales, aunque también estudia la tratabilidad de los problemas y ha desarrollado un algoritmo metaheurístico para cortes de chapa, comercializado por la empresa Megevand Soft.

El Lic. Pablo Factorovich es profesor adjunto de la planta ordinaria (2015[12]) y está finalizando su doctorado en la FCEN, UBA, trabajando en el desarrollo de algoritmos exactos para distintos problemas de ruteo de vehículos. Tiene más experiencia en el desarrollo de modelos matemáticos y algoritmos de tipo branch-and-bound. Incluso desarrolló un algoritmo de este tipo para la sincronización de semáforos, encargado por la empresa Autotrol.

El Lic. Remberto Emanuel Delgadillo es profesor instructor de la planta interina desde el segundo semestre del 2014. Se encuentra realizando su doctorado (FCEN, UBA) desde el 2013 en el diseño de redes de comunicación, diseñando modelos de programación entera y algoritmos metaheurísticos para los mismos. Asimismo, está implementando un nuevo algoritmo de corte de chapas que actualiza el que fuera desarrollado por el Dr. Soulignac para la misma empresa.

El Lic. Pablo Terlisky es profesor instructor de la planta interina desde marzo del 2015. Acaba de comenzar su doctorado (marzo 2015, FCEN, UBA) bajo la dirección del Dr. Soulignac en temas de coloreo y transversales de hipergrafos.

### b) Integrantes

*Completar Anexo I.*

## 11. Solicitud de fondos y justificación de los mismos

*Consignar el monto solicitado teniendo en cuenta el "X" asignado en la presente convocatoria. Para la determinación del (N) deberá tener en cuenta el Capítulo VI del Reglamento de Subsidios para Investigación, R. (CS) 107/15. Justifique en función de los objetivos y resultados esperados del Programa.*
*Tenga en cuenta los rubros elegibles establecidos en el Artículo 41º del Reglamento de Subsidios para Investigación, R. (CS) Nº 107/15.*
*El 10 % del monto total a otorgar son gastos generales de la UNQ.*

Se solicita la suma de $23.700 (pesos ventitrés mil setecientos) por año para cubrir los gastos del proyecto. Este valor se corresponde al mínimo asignable de 3$X$ (Art. 43, Res 107/15) con $X$=$7.900 (Art. 3, Res. 496/15).

Los gastos comprendidos en esta suma serán usados principalmente para solventar los insumos requeridos para la investigación (tóner para impresora y papel siendo los más importantes) y la publica-

11 Miembro de la planta interina desde el 2011, y radicado en la UNQ desde 2014.
12 Miembro de la planta interina desde 2012.

ción y comunicación de resultados (pasajes, inscripciones a congresos y viáticos) para los que no dispongamos de financiamiento alternativo. También se dispondrán fondos para la adquisición de bibliografía esencial que no pueda obtenerse por otros medios. Por último, si bien contamos con el equipamiento necesario para el proyecto, eventualmente será necesario reemplazar algún equipamiento obsoleto. En el caso de incorporar algún investigador posteriormente al inicio del proyecto, podría ser necesario adquirir una computadora o algún otro material.

## 12. Recursos disponibles

*Consignar si cuenta con recursos de otras fuentes de financiamiento que serán aplicados para la ejecución del Proyecto. Detallar fuente de financiamiento y período.*

El grupo conformado tal cual lo establece la Sección 10 no cuenta con ningún recurso externo. Sin embargo, el Dr. Soulignac es miembro del grupo responsable del proyecto PICT-2013-2205 de la ANPCyT (período: 08/2014-07/2017; monto total: $375.000), del cual es becario el Lic. Pablo Terlisky. Por su parte, el Lic. Delgadillo es miembro del proyecto UBACyT 20020130100586 (período: 10/2014-09/2017; monto total: $77500).

## 13. Observaciones

*Consignar aquí la información adicional que considere necesario agregar.*

Cabe mencionar que tres de los integrantes son dedicación parcial dentro de la Universidad (aunque las labores de investigación de dos de ellos son de dedicación exclusiva). El motivo es que la carrera es demasiado joven y cuenta con una cantidad limitada de recursos humanos y estructurales. Como ejemplo, vale mencionar que la carrera cuenta con menos de una oficina para todas sus dedicaciones exclusivas. Para subsanar esta situación se ha presentado un plan de crecimiento que está en consideración por las autoridades.

## 14. Anexos y documentación respaldatoria

*Verificar que la presentación incluya los siguientes anexos y documentación respaldatoria*

**a) Anexos**

- **Anexo I:** Listado de integrantes.
- **Anexo II:** CV del director, codirector, si corresponde, y de los integrantes. (completar el CVar, *Currículum unificado y normalizado a nivel nacional*, http://cvar.sicytar.mincyt.gob.ar/auth/). Los Cvs no deben presentarse impresos, sólo deben adjuntarse al CD que forma parte de la presentación.
- **Anexo III:** Copia digital de al menos 3 publicaciones representativas de la producción del grupo de investigación. De los libros deben adjuntarse la copia de la tapa, el índice, la introducción y los datos de impresión. NO adjuntar publicaciones impresas. Sólo deben guardarse en el CD que forma parte de la presentación.

**b) Documentación respaldatoria**

Adjuntar, si corresponde, certificados de becas y/o de posgrado en curso.

## 15. Referencistas

*Indicar pares que puedan ser consultados por la Comisión Evaluadora Externa sobre esta propuesta. Detallar nombre, dirección, correo electrónico y teléfono.*

- Irene Loiseau, Depto. Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, irene@dc.uba.ar, +54 11 4576-3390
- Marisa Gutiérrez, Depto. Matemática, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, marisa@mate.unlp.edu.ar, +54 221 422-9850
- Min Chih Lin, Instituto de Cálculo, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, oscarlin@dc.uba.ar, +54-11-4576-3359

## 16. Autorización

Autorizo que la información declarada sea publicada, parcial o totalmente, por la Universidad Nacional de Quilmes.

## 17. Declaración Jurada

Por la presente declaro que la totalidad de la información presentada es veraz *(firma y aclaración del director y del codirector del Proyecto)*