
Optimización multiobjetivo basada en técnicas bioinspiradas asistidas por aprendizaje automático

Propuesta de proyecto de investigación

Dr. Saúl Zapotecas Martínez

Dr. Abel García Nájera

Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas
División de Ciencias Naturales e Ingeniería
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa

3 de agosto de 2021

1. Título del proyecto

Optimización multiobjetivo basada en técnicas bioinspiradas asistidas por aprendizaje automático.

2. Líneas de investigación

El presente proyecto considera las siguientes líneas de investigación:

- Optimización multiobjetivo
- Algoritmos bioinspirados
- Aprendizaje automático
- Modelado y solución de problemas de búsqueda y optimización

3. Responsable y participantes

En el presente proyecto participan cuatro profesores adscritos al Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas de la UAM Cuajimalpa y una investigadora adscrita al Departamento de Sistemas de Información y Comunicaciones de la UAM Lerma.

Las líneas de investigación y responsabilidades de cada investigador se presentan a continuación.

3.1. Responsables

Dr. Saúl Zapotecas Martínez — UAM Cuajimalpa

Sus áreas de investigación comprenden optimización multiobjetivo basada en descomposición, métodos de programación matemática para mejorar algoritmos evolutivos multiobjetivo y modelos subrogados empleados en la resolución de problemas multiobjetivo. Tiene experiencia en el estudio y

solución de problemas de optimización a gran escala en términos del número de objetivos y variables de decisión. Ha publicado un amplio número de artículos de investigación en memorias de congreso, capítulo de libros y revistas especializadas. Las principales responsabilidades serán coordinar el proyecto de investigación, modelar, analizar, diseñar y evaluar nuevas estrategias evolutivas, basadas en descomposición y asistidas por técnicas de aprendizaje automático, para la resolución de problemas multiobjetivo en sus diferentes formas.

Contacto: szapotecas@cua.uam.mx

Dr. Abel García Nájera — UAM Cuajimalpa

Sus áreas de investigación abarcan la optimización combinatoria multiobjetivo y las heurísticas bioinspiradas. Su experiencia principal se enfoca en problemas del mundo real, particularmente en el estudio y solución de problemas que surgen en la investigación de operaciones, tales como: logística de transporte, planificación de proyectos y la asignación de tareas, entre otras. Su aportación a este proyecto será estudiar y evaluar los algoritmos multiobjetivo bioinspirados cuando son aplicados a la resolución de distintos problemas del mundo real.

Contacto: agarcian@cua.uam.mx.

3.2. Participantes

Dr. Jesús Guillermo Falcón Cardona — UAM Cuajimalpa

Sus áreas de investigación se centran en el uso de indicadores de calidad para la evaluación de algoritmos evolutivos multiobjetivo y la integración de técnicas de aprendizaje automático a estos. Con respecto al uso de indicadores de calidad, su experiencia abarca el estudio teórico de éstos, los modos de evaluación de los algoritmos y el diseño de algoritmos basados en indicadores de calidad para incrementar su desempeño al resolver problemas de optimización multiobjetivo. En cuanto al uso de técnicas de aprendizaje

automático, el Dr. Falcón busca emplear estas técnicas para construir nuevos componentes de los algoritmos multiobjetivo. En este proyecto, sus responsabilidades principales serán la evaluación de dichos algoritmos, el diseño de algoritmos con base en indicadores de calidad y el acoplamiento de las técnicas de aprendizaje automático.

Contacto: jfalcon@cua.uam.mx

Dr. Alejandro Lara Caballero — UAM Cuajimalpa

Sus áreas de investigación comprenden métodos heurísticos para la optimización combinatoria, particularmente recocido simulado. Su experiencia se enfoca a la solución de problemas de partición, principalmente en relación con el diseño de zonas geográficas, que surgen en áreas como los servicios y el ámbito público. Su aportación al proyecto será adaptar y analizar algoritmos multiobjetivo que se apliquen a problemas relevantes.

Contacto: alarac@cua.uam.mx

Dra. Karen Samara Miranda Campos — UAM Lerma

Sus áreas de investigación se centran en el diseño y evaluación de algoritmos y protocolos para optimizar el uso energético de redes de sensores y redes de relevos móviles. Su experiencia principal se basa en problemas de redes de computadoras y redes inalámbricas como componentes de Internet de las cosas. Particularmente, en el estudio y solución de problemas que surgen en el uso eficiente de energía, como el diseño y evaluación de protocolos de control topológico, de reducción del envío de mensajes y basados en la calidad de la experiencia, entre otros. Su aportación a este proyecto será estudiar y evaluar los algoritmos multiobjetivo bioinspirados para la resolución problemas en redes inalámbricas tipo ad hoc.

Contacto: k.miranda@correo.ler.uam.mx.

4. Orientación

- Investigación básica
- Investigación aplicada

5. Fecha de inicio y duración

Inicio: Agosto de 2021

Duración: 2 años

6. Propuesta

6.1. Resumen

En el mundo real existen problemas para los cuales se necesita la optimización simultánea de un conjunto de funciones. Este tipo de problemas son conocidos como problemas de optimización multiobjetivo (MOP por sus siglas en inglés). Por sus fundamentos, los algoritmos bioinspirados, en particular los algoritmos evolutivos multiobjetivo (MOEA por sus siglas en inglés), han llegado a ser una herramienta práctica y flexible para la resolución de problemas multiobjetivo. Por tal motivo, a lo largo de los años, un número de algoritmos evolutivos han sido propuestos. De acuerdo con sus bases conceptuales, los MOEA pueden ser clasificados en tres grandes grupos: basados en la optimalidad de Pareto, basados en indicadores y basados en descomposición.

En este proyecto se estudian nuevas formas de uso de los diferentes enfoques evolutivos para resolver problemas complejos. Se destacan las técnicas de aprendizaje automático como herramientas para asistir a los MOEA. En particular, nos interesa la resolución de problemas continuos, combinatorios, en espacios restringidos, en ambientes dinámicos, con muchos objetivos y con gran cantidad de variables. En el presente documento se presenta

la descripción general de los problemas que se estudiarán, el trabajo relacionado y destacará la importancia de este proyecto de investigación. También se plantea la hipótesis principal, los objetivos del proyecto, la metodología de investigación y el calendario de actividades sugerido para alcanzar dichos objetivos. Adicionalmente, se describe la infraestructura disponible para el desarrollo de este proyecto y las actividades necesarias para completar cada fase de este proyecto.

6.2. Antecedentes

En el mundo real, es posible encontrar un sin número de problemas que involucren la optimización simultánea de dos o más funciones objetivo (ver por ejemplo [2, 1]). Comúnmente, tales objetivos se encuentran en conflicto, es decir, optimizar uno de ellos implica deteriorar algún otro. Para ejemplificar la existencia de este tipo de problemas, consideremos el diseño de dispositivos electrónicos. Por un lado se desea *i) maximizar el desempeño del dispositivo*, y por otro lado se desea *ii) minimizar el costo de manufactura*. Estos dos objetivos siempre están en conflicto, puesto que diseñar un dispositivo con alto desempeño demanda componentes de alta capacidad, lo cual eleva el costo de manufactura. Por lo contrario, si el costo de manufactura es bajo, no sería posible incluir componentes que dan un alto desempeño al dispositivo.

Este tipo de problemas son comúnmente referidos como *problemas de optimización multiobjetivo* (MOP por sus siglas en inglés). En contraste al problema de optimización de un solo objetivo (*optimización mono-objetivo*), en la optimización multiobjetivo no hay una única solución óptima, sino un conjunto de soluciones alternativas óptimas denominadas *óptimos de Pareto*. El espacio de soluciones definen un compromiso entre los objetivos del problema y en su conjunto conforman el *espacio de las funciones objetivo* o *espacio objetivo*. De esta manera, resolver un MOP consiste en encontrar un *conjunto* finito de soluciones con los mejores compromisos que ofrezcan una buena diversidad de alternativas con respecto a los objetivos del problema.

La obtención del conjunto de Pareto es una tarea desafiante para la cual uno puede encontrar metodologías basadas en diferentes conceptos algorítmicos. Entre estas alternativas se encuentran los denominados algoritmos bioinspirados, los cuales son métodos estocásticos de búsqueda y optimización que simulan el proceso de evolución natural. Dado que los MOEA funcionan con un conjunto de soluciones (denominado *población*), estos algoritmos son capaces de encontrar distintas soluciones óptimas de Pareto en una sola ejecución. Por lo tanto, éstos han llegado a ser extraordinariamente populares en la resolución de MOP. De acuerdo con sus fundamentos teóricos, los MOEA puede estar basados en tres diferentes principios: optimalidad de **Pareto**, **indicadores** de desempeño y **descomposición**¹. Cada uno de estos enfoques brinda diferentes metodologías para resolver un MOP, las cuales, dependiendo el problema, pueden beneficiar o perjudicar en la exploración de soluciones óptimas de Pareto. No obstante, aun cuando este tipo de técnicas han sido ampliamente empleadas en un sin número de aplicaciones multiobjetivo del mundo real [2], este proyecto se concentrará en el enfoque basado en descomposición, el cual se describe a continuación

Algoritmos multi-objetivo basados en descomposición. Recientemente, los enfoques evolutivos han adoptado la idea de *descomponer* el MOP en un conjunto de subproblemas con un solo objetivo. Estos MOEA *basados en descomposición*, utilizan un conjunto de vectores de pesos los cuales son empleados para formular un conjunto de subproblemas. Esto subproblemas son resueltos a través del proceso de búsqueda y son la referencia de actualización de la población en un MOEA. Sin embargo, la principal limitación de este enfoque es la construcción apropiada de vectores de pesos para tratar con problemas de optimización con un gran número de objetivos. Por otro lado, un vector de pesos puede definir un subproblema donde no existe compromiso entre los objetivos del problema. Esto último es comúnmente observado en problemas discretos o con frentes de Pareto desconectados. Adicionalmente, este tipo de problemas llegan a ser más complejo cuando el espacio de búsqueda es restringido (problemas con

¹Una amplia revisión de estos tipos de algoritmos puede encontrarse en [6].

restricciones), altamente no lineal, multimodal y en ambientes dinámicos. En este proyecto se estudiarán nuevos enfoques de descomposición para la resolución de problemas multiobjetivo en su forma más general.

Algoritmos multiobjetivo bioinspirados asistidos por técnicas de aprendizaje automático. Las características intrínsecas de los problemas multiobjetivo del mundo real tales como multimodalidad, alta dimensionalidad de objetivos y variables, discontinuidad, ambientes dinámicos, entre otras, hacen que un problema multiobjetivo sea difícil de resolver. Para esta clase de problemas complejos, las técnicas de aprendizaje automático brindan la posibilidad de modelar los paisajes de aptitud del problema o construir modelos subrogados. En este proyecto se estudiarán distintas técnicas de aprendizaje automático capaces de asistir a los algoritmos evolutivos multiobjetivo con la finalidad de resolver problemas complejos.

6.3. Objetivos

General

Diseñar y evaluar algoritmos bioinspirados asistidos por aprendizaje automático para la resolución de problemas complejos de optimización multiobjetivo.

Particulares

Se tienen contemplados los siguientes objetivos particulares:

- OP1.** Diseñar, implementar y aplicar nuevos enfoques de descomposición y su acoplamiento en algoritmos multiobjetivo bioinspirados.
- OP2.** Diseñar modelos subrogados mediante técnicas de aprendizaje automático para asistir algoritmos multiobjetivo bioinspirados.

- OP3.** Diseñar modelos del paisaje de aptitud mediante técnicas de aprendizaje automático para aproximar el frente de Pareto de un problemas multiobjetivo.
- OP4.** Validar los algoritmos resultantes con métricas de desempeño comúnmente empleadas en la literatura especializada.
- OP5.** Realizar un análisis estadístico con el fin de localizar los parámetros a los cuales los algoritmos bioinspirados son sensibles.

6.4. Descripción

Los algoritmos evolutivos multiobjetivo imitan el proceso de la evolución natural, mediante una simulación de operadores genéticos o de recombinación. En la ejecución de este tipo de algoritmos se hace una exploración y explotación del espacio de búsqueda, con el fin de encontrar soluciones que cumplan con determinados criterios de calidad. En el caso de optimización multiobjetivo basada en descomposición, estos criterios de calidad son establecidos cuando se resuelven un conjunto de problemas de optimización simultáneamente. A continuación se describe el enfoque de descomposición para optimización multiobjetivo y el trabajo existe en esta línea de investigación. Con esto se pretende ver la complejidad del problema y a su vez la importancia del desarrollo de nuevas metodologías en esta dirección.

Enfoque de descomposición

En la última década, las técnicas tradicionales de programación multiobjetivo han sido consideradas para aproximar el frente de Pareto de un MOP. Este tipo de MOEA sigue la idea de transformar un MOP en varios subproblemas de un solo objetivo, el conocido enfoque de descomposición sugerido en los métodos de programación multiobjetivo tradicionales, ver por ejemplo [5, 4]. En este enfoque cada subproblema está definido por un vector de pesos y una función de escalarización que, bajo algunas hipótesis, el valor óptimo de dicho subproblema, es una solución óptima de Pareto.

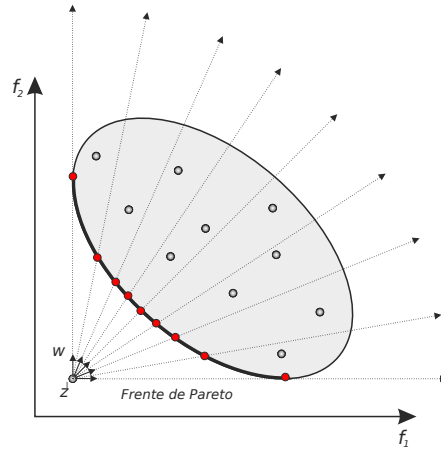


Figura 1: *Ilustración del enfoque de descomposición para un problema de dos objetivos usando la intersección de la frontera normal.*

Por lo tanto, teniendo un conjunto de vectores de pesos, es posible conseguir múltiples puntos a lo largo del frente de Pareto. Además, si tales vectores de pesos están distribuidos uniformemente en el espacio objetivo, se puede alcanzar una buena representación del frente de Pareto.

Para entender este enfoque veamos la Figura 1. En esta figura, el conjunto de vectores de pesos W son proyectados sobre el espacio objetivo para visualizar las direcciones de búsqueda que sigue un MOEA. Las soluciones en rojo, representan los mejores compromisos de los objetivos del problema, las cuales son encontradas optimizando los subproblemas de escalarización definidos por los vectores de peso W . Para este caso en particular, la función escalar de la intersección de la frontera normal [3] fue empleada. Sin embargo, vale la pena señalar, que dependiendo de la función de escalarización, se obtienen diferentes soluciones del frente de Pareto. Es decir, no todas las funciones de escalarización obtienen las mismas soluciones, aún cuando ellas son definidas por los mismos vectores de pesos.

Hipótesis

Las hipótesis planteadas en este proyecto de investigación son las siguientes:

- H1.** Las propuestas actuales de descomposición para resolver problemas de optimización multiobjetivo consideran vectores de pesos estáticos. En este contexto, la principal hipótesis es que el uso de técnicas de dispersión de datos (clustering, crowding, spread, etc.) pueden ayudar a generar los pesos dinámicamente usando como referencia el conjunto de soluciones no dominadas encontradas a lo largo del proceso de búsqueda del algoritmo multiobjetivo.
- H2.** Es posible diseñar algoritmos evolutivos multiobjetivo para la resolución de problemas combinatorios basándose en operadores geométricos en el proceso recombinación.
- H3.** Los algoritmos evolutivos multiobjetivo funcionarán mejor en espacios restringidos (problemas con restricciones) si estos están basados en técnicas matemáticas.
- H4.** La retención de soluciones no dominadas en archivos externos ayuda a la resolución de problemas dinámicos. Particularmente, el uso de estas técnicas también son utilizadas para obtener una mejor distribución de soluciones en el frente de Pareto de un problema con muchos objetivos.

6.5. Formación de recursos humanos

En este proyecto se tiene planeada la participación de alumnos de acuerdo al siguiente esquema.

- **Licenciatura.** Cuatro estudiantes de las Licenciaturas en **Ingeniería en Computación** o **Matemáticas Aplicadas** de la UAM-C, quienes realizarán su Proyecto Terminal en temas relacionados a los alcances de este proyecto.

- **Posgrado.** Un estudiante de posgrado, quienes realizarán su Proyecto de Investigación en temas relacionados a los alcances de este proyecto.
- **Servicio social.** Al menos dos estudiantes de Licenciatura, cuya principal actividad será apoyar a las actividades relacionadas a este proyecto de investigación.

6.6. Impacto esperado

El proyecto aquí propuesto está relacionado con la optimización multiobjetivo basada en descomposición para problemas con muchos objetivos, con restricciones, combinatorios y dinámicos.

Debido a la escasa investigación que se puede encontrar en la literatura especializada relacionada con estos los temas, se espera que las actividades y productos (seminarios, artículos de revistas, trabajos presentados conferencias, etc.) tengan un impacto considerable dentro de la comunidad de optimización multiobjetivo basada en técnicas de inteligencia computacional.

Con esto, se pretende consolidar un grupo de investigación especializado en los temas de investigación arriba mencionados dentro del Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas.

7. Recursos necesarios

Infraestructura física y recursos humanos actuales en el proyecto

Infraestructura física. La infraestructura física con la que se cuenta actualmente para la realización de este proyecto incluye:

- Acceso a las bibliotecas digitales en donde se publican los resultados relevantes en el área de investigación correspondiente a este proyecto.

- Laboratorio Cómputo Móvil e Inteligencia Artificial, el cual cuenta con equipos de cómputo y acceso a Internet.

Recursos humanos. Los recursos humanos con el que se cuenta actualmente para este proyecto incluye:

- Cuatro investigadores adscritos a la UAM-C y una investigadora adscrita a la UAM-L.
- Dos estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería en Computación desarrollando su proyecto terminal en temas relacionados a este proyecto.
- Un estudiante de la Maestría en Ciencias Naturales e Ingeniería desarrollando su proyecto de investigación en temas relacionados a este proyecto.

8. Calendario de actividades

Las actividades que se llevarán a cabo en este proyecto se dividen principalmente en los grupos siguientes.

A1. Estudio de los problemas

A1.1. Revisión bibliográfica

A1.2. Identificación de los principales dificultades de los problemas de optimización multiobjetivo

A2. Diseño del algoritmo para problemas de muchos objetivos

A2.1. Diseño de la propuesta algorítmica

A2.2. Evaluación en los problemas de prueba

A2.3. Análisis y reporte de resultados

A3. Diseño del algoritmo para problemas con restricciones

A3.1. Diseño de la propuesta algorítmica

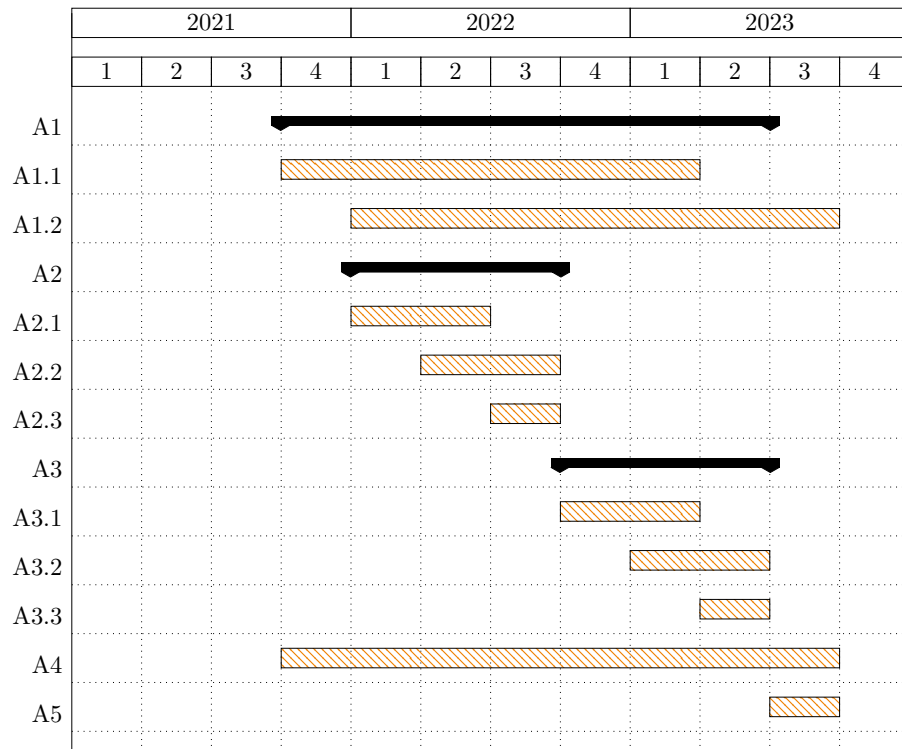


Figura 2: *Calendario de actividades del proyecto.*

A3.2. Evaluación en los problemas de prueba

A3.3. Análisis y reporte de resultados

A4. Documentación

A5. Gestión y cierre del proyecto

El calendario de las actividades anteriores se muestra en la Figura 2.

9. Información para el seguimiento

9.1. Calendarización de productos esperados

Los productos esperados los podemos calendarizar como sigue:

- P1.** Un informe de Proyecto Terminal por cada alumno de licenciatura. Estos productos se esperan a partir del primer año a partir de la fecha de iniciación del proyecto.
- P2.** Una idónea comunicación de resultados de los alumnos de posgrado. Este producto se espera al final de este proyecto.
- P3.** Un informe de los alumnos de licenciatura que realicen su servicio social. Estos productos se espera a partir del primer año con respecto a la fecha de iniciación del proyecto.
- P4.** Una memoria de congreso por año presentada y publicada en extenso con arbitraje estricto en alguna conferencia de prestigio internacional (en total **dos** artículos). Estos productos se esperan a partir del primer año respecto a la fecha de inicio del proyecto.
- P5.** Al menos dos artículos de investigación **enviados** a revistas indizadas en el *Journal Citation Reports*. Estos productos se esperan a partir del primer año respecto a la fecha de inicio del proyecto.

9.2. Resultados esperados

De una manera general, los siguientes son los resultados que se esperan al término de este proyecto:

- R1.** Dos memorias de congreso publicados en extenso con arbitraje estricto en congresos internacionales de prestigio.
- R2.** Al menos dos artículos de investigación enviados a revistas indizadas en el *Journal Citation Reports*.

- R3.** Al menos cuatro alumnos de las Licenciatura en **Ingeniería en Computación** o **Matemáticas Aplicadas** con Proyecto Terminal relacionado a este proyecto de investigación.
- R4.** Al menos un alumno de posgrado con trabajo de investigación relacionado a este proyecto de investigación.
- R5.** Se espera contar con el apoyo de estudiantes de servicio social, que apoyaán en algunas actividades relacionadas al presente proyecto.

Referencias

- [1] Jürgen Branke, Kalyanmoy Deb, Kaisa Miettinen, and Roman Slowinski, editors. *Multiobjective Optimization. Interactive and Evolutionary Approaches*. Springer. Lecture Notes in Computer Science Vol. 5252, Berlin, Germany, 2008.
- [2] Carlos A. Coello Coello and Gary B. Lamont, editors. *Applications of Multi-Objective Evolutionary Algorithms*. World Scientific, Singapore, 2004. ISBN 981-256-106-4.
- [3] I. Das and J. E. Dennis. Normal-boundary intersection: a new method for generating Pareto optimal points in multicriteria optimization problems. *SIAM Journal on Optimization*, 8(3):631–657, 1998.
- [4] Kaisa Miettinen. *Nonlinear Multiobjective Optimization*. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, 1999.
- [5] H. Mukai. Algorithms for multicriterion optimization. *Automatic Control, IEEE Transactions on*, 25(2):177–186, Apr 1980.
- [6] Aimin Zhou, Bo-Yang Qu, Hui Li, Shi-Zheng Zhao, Ponnuthurai Nagarathnam Suganthan, and Qingfu Zhang. Multiobjective evolutionary algorithms: A survey of the state of the art. *Swarm and Evolutionary Computation*, 1(1):32–49, 2011.