



# Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa

Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas

Propuesta de investigación

Dr. Jesús Guillermo Falcón Cardona

## Contenido

1. Planteamiento del problema	2
2. Hipótesis de investigación	3
3. Objetivos	4
4. Productos de investigación	4
5. Actividades de docencia	5
6. Actividades de gestión académica y reconocimiento	5
7. Cronograma de actividades	5

# 1. Planteamiento del problema

Desde hace poco más de veinte años, los indicadores de calidad (ICs) han sido fundamentales para el análisis de los algoritmos evolutivos multi-objetivo (AEMOs) [7]. Matemáticamente, los ICs son funciones que establecen un orden total entre el conjunto de las aproximaciones a un frente de Pareto [11]. En consecuencia, son ideales para comparar AEMOs y así decidir cuál cuenta con un mejor desempeño. Actualmente, existe una amplia gama de ICs en la literatura especializada, siendo aquellos orientados a medir la convergencia de las aproximaciones a los frentes de Pareto los que han tenido un mayor impacto [7, 2].

El enfoque principal de los ICs que miden convergencia es determinar qué tan lejana se encuentra la aproximación al frente de Pareto (creada por un AEMO) del frente de Pareto verdadero para el problema de optimización multi-objetivo (POM) que esté siendo atacado. Una propiedad fundamental de este tipo de ICs es que sean compatibles con la relación de dominancia de Pareto<sup>1</sup>. En otras palabras, dados dos conjuntos de aproximación  $\mathcal{A}, \mathcal{B} \in \mathbb{R}^{N \times m}$ , si  $\mathcal{A}$  es mejor en el sentido de la dominancia de Pareto que  $\mathcal{B}$ , entonces el valor de indicador para  $\mathcal{A}$  debe ser estrictamente mejor que el valor de indicador para  $\mathcal{B}$ . Si lo anterior se cumple, entonces el IC es Pareto-compatible. Actualmente, el indicador de hipervolumen (HV) [10], sus variantes (HV ponderado, HV logarítmico, y el HV libre), y los indicadores combinados Pareto-compatibles [4] (los cuales requieren de HV para su formulación) son los únicos ICs Pareto-compatibles. Sin embargo, calcularlos implica un alto costo computacional conforme la dimensión del espacio de las funciones objetivo incrementa. En consecuencia, otros ICs con propiedades matemáticas más débiles han sido empleados. Entre estos se encuentran los ICs débilmente Pareto-compatibles, es decir, el valor de indicador de  $\mathcal{A}$  es al menos tan bueno como el de  $\mathcal{B}$ , siendo que  $\mathcal{A}$  es mejor que  $\mathcal{B}$  con base en la dominancia de Pareto; y, también, existen los ICs no Pareto-compatibles.

Además de ser empleados para medir la calidad de los AEMOs, los ICs han sido utilizados para diseñar sus mecanismos de selección [2]. En este sentido, el constante cálculo de los valores de indicador ha hecho que el uso de HV se vea restringido dado su alto costo computacional. Es por esto que otros ICs como R2 [1], IGD<sup>+</sup>[6],  $\epsilon^+$  [11], y  $\Delta_p$  [8] han sido empleados en mecanismos de selección debido a su bajo costo computacional a costa de propiedades matemáticas más débiles. Los AEMOs basados en ICs débilmente Pareto-compatibles o no Pareto-compatibles han mostrado propiedades de convergencia significativas en comparación con AEMOs empleando HV (o

---

<sup>1</sup>Dados  $\vec{u}, \vec{v} \in \mathbb{R}^m$ , se dice que  $\vec{u}$  domina en el sentido de Pareto a  $\vec{v}$  si y solo si  $u_i \leq v_i$  para toda  $i = 1, \dots, m$  y existe al menos un índice  $j \in \{1, \dots, m\}$  tal que  $u_j < v_j$ .

sus variantes) [5, 9, 3]. Sin embargo, aún se desconocen las razones por las cuales este tipo de ICs son efectivos en un ambiente práctico (es decir, siendo parte de mecanismos de selección) en comparación con sus contrapartes Pareto-compatibles.

Este proyecto de investigación se centra en estudiar los ICs Pareto-compatibles, débilmente Pareto-compatibles, y no Pareto-compatibles al ser empleados en mecanismos de selección. Para ello es necesario profundizar en el conocimiento teórico de los ICs y encontrar cuáles son las razones por las cuales tienen éxito al ser empleados como mecanismos de selección, independientemente de la propiedad de Pareto-compatibilidad. Además, se busca ampliar el conocimiento sobre las propiedades de convergencia y diversidad de estos ICs en los frentes de aproximación finales producidos por AEMOs. Finalmente, se busca determinar en qué tipo de POMs son más efectivos los mecanismos de selección basados en ICs.

## 2. Hipótesis de investigación

El presente proyecto de investigación gira en torno a la propiedad de Pareto-compatibilidad de ICs. Específicamente, se desea determinar cuál es la influencia de esta propiedad en AEMOs basados en ICs. Por lo tanto, la pregunta de investigación principal es la siguiente: **¿Por qué los AEMOs basados en ICs débilmente Pareto-compatibles y no Pareto-compatibles presentan propiedades de convergencia y distribución competitivas con respecto a usar ICs Pareto-compatibles?** Otras preguntas de investigación que se desprenden a partir de esta son las siguientes:

- ¿Cuáles son las propiedades teóricas de los ICs que les permiten ser efectivos como mecanismos de selección?
- ¿Qué tipo de selección es la más adecuada de acuerdo con el tipo de IC?
- ¿En qué tipo de POMs son más efectivos los mecanismos de selección basados en ICs Pareto-compatibles, débilmente Pareto-compatibles, y no Pareto-compatibles?
- ¿Es posible determinar, a lo largo del proceso evolutivo, momentos específicos para emplear ICs con diferentes propiedades de Pareto-compatibilidad?

### 3. Objetivos

El objetivo principal de esta propuesta de investigación es el siguiente. **Estudiar las propiedades teóricas de diversos indicadores de calidad orientados a convergencia para determinar cuál es su efecto sobre el desempeño de AEMOs que los emplean en sus mecanismos de selección. Esto con el objeto de comprender por qué ICs con propiedades más débiles de Pareto-compatibilidad son efectivos en la resolución de POMs.**

La presente propuesta de investigación está orientada a trabajar de manera colaborativa con investigadores del Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas (DMAS) de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa. Por lo que en la Tabla 1 se indican las actividades en las que se plantea una acción conjunta con los investigadores con vista a cumplir el objetivo principal.

Tabla 1: Actividades a realizar para cumplir con el objetivo principal de la investigación.

Clave	Actividad	Colaboración
A1	Estudio teórico de las propiedades de ICs.	Dres. Abel García Nájera, Antonio López Jaimes, y Saúl Zapotecas Martínez.
A2	Perfilar mecanismos de selección basados en ICs con distintos tipos de POMs.	Dr. Saúl Zapotecas Martínez.
A3	Determinar propiedades de convergencia y diversidad de los mecanismos de selección.	Dres. Jorge Cervantes Ojeda y Adolfo Zamora Ramos.
A4	Análisis de datos y generación de teorías	Dres. Abel García Nájera, Antonio López Jaimes y Saúl Zapotecas Martínez.

### 4. Productos de investigación

Como resultado de los esfuerzos de investigación en torno al tema propuesto, se plantea la generación de los siguientes productos de investigación.

1. Generar un artículo de investigación para ser publicado en una revista de alto impacto relacionada con computación evolutiva.
2. Al menos un artículo para ser publicado en una conferencia internacional (por ejemplo, el *Genetic and Evolutionary Computation Conference* o el *Congress on Evolutionary Computation*).

## 5. Actividades de docencia

Como parte del compromiso solidario con el DMAS, se plantean las siguientes actividades de docencia.

- B1: Impartición de Unidades de Enseñanza-Aprendizaje afines a mis conocimientos.
- B2: Participación en cursos de formación docente.
- B3: Formación de recursos humanos de alta calidad para las licenciaturas en matemáticas aplicadas, ingeniería en computación, y del posgrado en ciencias naturales e ingeniería (de acuerdo con la disponibilidad).
- B4: Promoción de la investigación en torno a mi área expertiz.
- B5: Dirección de trabajos terminales.

## 6. Actividades de gestión académica y reconocimiento

Durante la estancia en el DMAS, la política a seguir es estar al servicio de la universidad. Es por ello que se plantea mantener una participación activa y proactiva en todo momento. En consecuencia, se busca realizar las siguientes actividades de gestión académica y de reconocimiento.

- C1: Participación en la organización de eventos académicos.
- C2: Participación en comisiones académicas.
- C3: Participación en seminarios dentro del cuerpo académico correspondiente.
- D1: Participación en convocatorias PRODEP.
- D2: Participación en convocatoria del SNI.
- D3: Participación en proyectos de apoyo a nuevos profesores de tiempo completo (PTC).

## 7. Cronograma de actividades

En esta sección se muestra el calendario de actividades que se plantea seguir en el transcurso de un año, es decir, durante los trimestres 2020-O, 2021-I, 2021-P. La Tabla 2 muestra la programación de actividades.

Tabla 2: Programación de actividades de investigación, docencia, gestión académica y reconocimiento durante los trimestres 2020-O, 2021-I y 2021-P.

Actividad	Trimestre 20-O	Trimestre 21-I	Trimestre 21-P
A1	X		
A2	X	X	
A3		X	
A4		X	X
B1	X	X	X
B2	X	X	X
B3	X	X	X
B4	X	X	X
B5			X
C1			X
C2			X
C3		X	
D1	X		
D2			X
D3	X		

## Referencias

- [1] Dimo Brockhoff, Tobias Wagner, and Heike Trautmann. On the Properties of the  $R2$  Indicator. In *2012 Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'2012)*, pages 465–472, Philadelphia, USA, July 2012. ACM Press. ISBN: 978-1-4503-1177-9.
- [2] Jesús Guillermo Falcón-Cardona and Carlos A. Coello Coello. Indicator-based multi-objective evolutionary algorithms: A comprehensive survey. *ACM Computing Surveys*, 53(2), March 2020.
- [3] Jesús Guillermo Falcón-Cardona, Michael Emmerich, and Carlos A. Coello Coello. On the Cooperation of Multiple Indicator-based Multi-Objective Evolutionary Algorithms. In *2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pages 2050–2057, June 2019.
- [4] Jesús Guillermo Falcón-Cardona, Michael T. M. Emmerich, and Carlos A. Coello Coello. On the construction of pareto-compliant quality indicators. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion, GECCO'19*, pages 2024–2027, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.

- [5] Raquel Hernández Gómez and Carlos A. Coello Coello. A Hyper-Heuristic of Scalarizing Functions. In *2017 Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'2017)*, pages 577–584, Berlin, Germany, July 15-19 2017. ACM Press. ISBN 978-1-4503-4920-8.
- [6] Hisao Ishibuchi, Hiroyuki Masuda, Yuki Tanigaki, and Yusuke Nojima. Modified Distance Calculation in Generational Distance and Inverted Generational Distance. In António Gaspar-Cunha, Carlos Henggeler Antunes, and Carlos Coello Coello, editors, *Evolutionary Multi-Criterion Optimization, 8th International Conference, EMO 2015*, pages 110–125. Springer. Lecture Notes in Computer Science Vol. 9019, Guimarães, Portugal, March 29 - April 1 2015.
- [7] Miqing Li and Xin Yao. Quality evaluation of solution sets in multiobjective optimisation: A survey. *ACM Computing Surveys*, 52(2):26:1–26:38, March 2019.
- [8] Oliver Schütze, Xavier Esquivel, Adriana Lara, and Carlos A. Coello Coello. Using the Averaged Hausdorff Distance as a Performance Measure in Evolutionary Multiobjective Optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 16(4):504–522, August 2012.
- [9] Ye Tian, Ran Cheng, Xingyi Zhang, Fan Cheng, and Yaochu Jin. An Indicator-Based Multiobjective Evolutionary Algorithm with Reference Point Adaptation for Better Versatility. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 22(4):609–622, August 2018.
- [10] Eckart Zitzler. *Evolutionary Algorithms for Multiobjective Optimization: Methods and Applications*. PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland, November 1999.
- [11] Eckart Zitzler, Lothar Thiele, Marco Laumanns, Carlos M. Fonseca, and Viviane Grunert da Fonseca. Performance Assessment of Multiobjective Optimizers: An Analysis and Review. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 7(2):117–132, April 2003.