

# Experiencias en la asignatura Investigación de Operaciones en la carrera de Ingeniería Informática

## Experiences in Operations Research course in Software Engineering degree

---

Eduardo Sánchez Ansola<sup>1</sup>, Alejandro Rosete<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CUJAE, La Habana, Cuba

[esancheza@ceis.cujae.edu.cu](mailto:esancheza@ceis.cujae.edu.cu), [rosete@ceis.cujae.edu.cu](mailto:rosete@ceis.cujae.edu.cu)

---

**Recibido:** 17/07/2019 | **Corregido:** 20/05/2020 | **Aceptado:** 13/08/2020

**Cita sugerida:** E. Sánchez Ansola and A. Rosete “Experiencias en la asignatura Investigación de Operaciones en la carrera de Ingeniería Informática,” *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, no. 27, pp. 83-88, 2020. doi: 10.24215/18509959.27.e9

Esta obra se distribuye bajo **Licencia Creative Commons CC-BY-NC 4.0**

### Resumen

El trabajo muestra las principales experiencias de los profesores de la asignatura Investigación de Operaciones en la Facultad de Ingeniería Informática de la CUJAE entre los cursos 2015-16 y 2018-19. La asignatura en estos cursos fue concebida hacia la búsqueda de un aprendizaje desarrollador por parte del estudiante, su formación como un profesional capaz de aprender por sí mismo, así como hacia su desarrollo integral como profesional de la Informática. Se muestran los resultados de los análisis realizados en cursos previos y los resultados docentes alcanzados por los estudiantes, así como algunas observaciones correspondientes a los cursos en cuestión. Para realizar los análisis mencionados, fueron aplicadas múltiples encuestas, tanto a estudiantes de cursos anteriores (para determinar las principales dificultades), como a los estudiantes que han recibido el nuevo diseño (con el fin de valorar su calidad y cumplimiento de los objetivos deseados). Con este mismo fin, se comparan la calidad de ambos diseños de la asignatura a partir de los resultados de los Exámenes Finales. Tanto las encuestas de opinión como los resultados docentes muestran como el nuevo diseño logra mayor motivación e interés en los estudiantes, así como aumentar la calidad de las calificaciones sin disminuir las exigencias.

**Palabras clave:** Aprendizaje desarrollador; Ingeniería informática; Investigación de operaciones.

### Abstract

This work presents the main experiences of the professors of Operations Research in the Faculty of Informatics Engineering of CUJAE between the courses 2015-16 and 2018-19. This subject in these courses was conceived towards the search of a developer learning on the part of the student, the training as a professional capable of learning by themselves, as well as towards their integral development as a computer professional. The results of the analysis carried out in previous courses and the teaching results achieved by the students are shown, as well as some observations corresponding to the courses in question. To carry out the aforementioned analyzes, multiple surveys were applied, both to students from previous courses (to determine the main difficulties), and to students who have received the new design (in order to assess its quality and compliance with the desired objectives). For the same purpose, the quality of both designs of the subject are compared in terms of the results of the Final Exams. Both, opinion and teaching results show how the new design achieves greater motivation and interest in students, as well as an increasing quality of grades without reducing demands.

**Keywords:** Developer learning; Informatics engineering; Operations research.

## 1. Introducción

La carrera Ingeniería Informática se cursa en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE) desde el año 1976, primero con el nombre de Sistemas Automatizados de Dirección (SAD) y desde el año 1995 como Ingeniería Informática. Esta carrera ha transitado por múltiples Planes de Estudios, en los cuales siempre se han incluido temas y asignaturas referentes a la Investigación de Operaciones (IO). La carrera surge inicialmente como parte de la Facultad de Ingeniería Industrial, con lo cual se explica en gran medida la inclusión de temas de IO en los planes de estudio. Es importante destacar que la CUJAE, es el centro rector de las Ciencias Técnicas en Cuba y la Facultad de Ingeniería Informática, en la que se imparte la carrera, es por tanto el Centro Rector de la Ingeniería Informática.

A partir del curso 2007-08 se lleva a cabo el Plan de Estudios D, en el cual la Investigación de Operaciones se imparte como asignatura en el 1er Semestre del 4to año de la carrera. Para vencer esta asignatura los estudiantes tienen tres oportunidades (Examen Final, Examen de Revalorización y Examen Extraordinario). Entre los cursos 2013-14 y 2014-15, los resultados alcanzados por los estudiantes en esta asignatura no fueron satisfactorios, sobre todo en el Examen Final (ver Figura 1), pues eran similares a los resultados de estudiantes de 1er o 2do año de la carrera en asignaturas muy complejas como Diseño y Programación Orientada a Objetos o Estructuras de Datos.

Teniendo en cuenta esta situación, se decidió realizar una revisión de la asignatura y llevar a cabo algunas modificaciones con el fin de mejorar los resultados docentes. El objetivo del presente trabajo es mostrar las modificaciones realizadas en la impartición de la asignatura y los resultados docentes alcanzados en los últimos cuatro cursos docentes.

## 2. Enseñanza de la IO

La enseñanza de la Investigación de Operaciones (IO) continuamente se ha mantenido en el foco de los investigadores. Por ejemplo [1, 2] entre las décadas de los 70 y 80, dedican sus investigaciones a los principios básicos de la enseñanza de la IO y a los inicios de los softwares educativos.

En la década de los 90, se puede mencionar a [3], que estudia y propone nuevas aproximaciones a la enseñanza de la IO, sobre todo, impactando en la motivación de los estudiantes hacia la temática.

Finalmente, en los últimos años [4], vuelve a destacar la importancia de la motivación de los estudiantes y la relación entre estudiantes y profesor, mientras que en [5] resaltan el uso de video tutoriales en la enseñanza de temas relacionados a la IO y en [6] se propone el uso de un Sistema de Tutoría Inteligente para ayudar a los estudiantes a resolver problemas de optimización.

Investigaciones más recientes, destacan que el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en los procesos de enseñanza-aprendizaje (incluida la enseñanza de Investigación de Operaciones [7]) y la mayor vinculación de estos procesos con entornos reales o simulados [8] puede mejorar la experiencia de los estudiantes. Esta mejoría es tanto desde el punto de vista de la comunicación como en la facilidad para comprender los temas que son impartidos. Asimismo, los autores de [9] muestran como la utilización del nuevo método “Aula Invertida” (del inglés “Flipped Classroom”), puede ser una experiencia beneficiosa en la impartición de asignaturas como Investigación de Operaciones.

Es significativo destacar que en dos de los currículos de la ACM para carreras relativas a la Informática (Ingeniería de Software [10] y Ciencias de la Computación [11]) se hace muy poco énfasis en los temas referentes a la Investigación de Operaciones. Es por ello que la inclusión de esta asignatura en el plan de estudios de la Ingeniería Informática en la CUJAE tiene, fundamentalmente un enfoque histórico, debió a como se originó la carrera inicialmente. Vale mencionar que esta carrera no solo tiene elementos en común con los perfiles ya mencionados, sino con al menos otros dos.

## 3. Situación previa

En los cursos 2013-14 y 2014-15, los resultados alcanzados por los estudiantes que cursaron IO, no fueron los esperados, teniendo en cuenta que esta asignatura se imparte en 4to año de la carrera. Tal es así que aproximadamente el 60 % de los estudiantes no lograron aprobar el Examen Final y debieron presentarse a la 2da convocatoria (Revalorización) y alrededor del 30 % a la 3ra y última convocatoria (Extraordinario) para aprobar la asignatura (Figura 1).

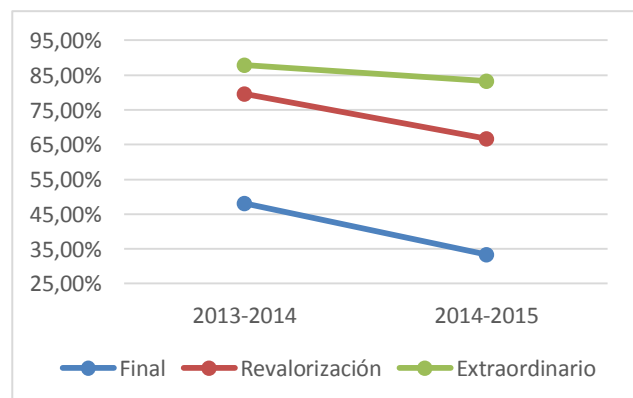


Figura 1. Resultados en las evaluaciones finales de IO en los cursos 2013-2014 y 2014-2015

A partir de estos resultados, el Centro de Referencia para la Educación Avanzada (CREA) de la CUJAE, realizó un análisis de los mismos, con el fin de evaluar las causas fundamentales. Entre estas causas se destacan:

1. Desmotivación en los estudiantes por no ver relación entre la asignatura y la carrera,
2. Pocas evaluaciones sistemáticas: existía una sola prueba parcial y
3. Nivel de dificultad de los exámenes por encima de lo trabajado en clases.

## 4. Nuevo diseño de la asignatura

Teniendo en cuenta los elementos mencionados en la sección anterior, un colectivo de profesores de la Facultad se dio a la tarea de rediseñar la asignatura. No solo con el fin de aumentar la promoción de los estudiantes y corregir las mencionadas dificultades, sino con el objetivo de mejorar la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje en la impartición de la asignatura. Una gran parte de los cambios realizados tienen como base las experiencias obtenidas en otras asignaturas de la carrera, destacándose la de Matemática Discreta [12].

Los principales cambios fueron:

- (1) Utilizar como bibliografía principal el texto "Introducción a la Investigación de Operaciones" de Hillier y Liberman [13],
- (2) Modificar el sistema de evaluaciones parciales,
- (3) Redactar y modificar los problemas presentes en el libro de forma tal que se presentaran en forma de situaciones asociadas a contextos informáticos o relativos al desarrollo de la profesión,
- (4) Impartir una consulta semanal para reforzar los contenidos impartidos en las clases y
- (5) Que la asignatura sea impartida por profesores graduados de la especialidad.

### 4.1. Bibliografía

Con respecto al primer cambio propuesto (1), en el diseño anterior la bibliografía principal consistía en un libro de texto escrito por un colectivo de profesores pertenecientes al Departamento de Ingeniería Industrial de la CUJAE, más un conjunto de materiales complementarios (presentaciones y documentos digitales). Con esta modificación no solo se cambió la bibliografía, sino el orden en que se imparten los temas, debido a que, en el nuevo diseño, se sigue exactamente el orden del libro propuesto.

### 4.2. Sistema de evaluación

Para el segundo (2) y cuarto cambio (4), se tuvieron en cuenta las dos últimas causas detectadas: pocas evaluaciones parciales y el nivel de dificultad de los exámenes superior a los trabajados en clases. De tal forma, anteriormente solo existía una evaluación previa a las tres oportunidades finales y no se seguía un proceso de constante evaluación. Para resolver esta situación, el nuevo diseño incluye: tres exámenes durante el curso, con pocos temas a evaluar en cada uno y evaluaciones frecuentes (en cada actividad práctica), con su respectiva

retroalimentación y consultas una vez por semanas en horario diferente a las clases planificadas.

### 4.3. Vinculación con la profesión

Tal vez el cambio más significativo en los estudiantes sea el tercero (3): reescribir los problemas de la asignatura con un enfoque más similar al desarrollo de la profesión de Ingenieros Informáticos. Con esta modificación no solo se intentó corregir los muy importantes problemas de motivación antes mencionados, sino influir en uno de los elementos que más impactan negativamente en los estudiantes universitarios: su capacidad de abstracción en la solución de problemas.

A continuación, se presenta el ejemplo clásico del libro de texto y una de las variantes "informáticas" propuestas:

#### 4.3.1. Ejemplo del libro de texto

El ejemplo del libro [13] plantea: La WYNDOR GLASS CO. produce artículos de vidrio de alta calidad (...). Tiene tres plantas. Los marcos y molduras de aluminio se hacen en la planta 1, los de madera en la planta 2; la 3 produce el vidrio y ensambla los productos. Debido a una reducción de las ganancias, (...) emprender la fabricación de dos productos cuyas ventas potenciales son muy prometedoras:

- Producto 1: una puerta de vidrio de 8 pies con marco de aluminio
- Producto 2: una ventana corrediza con marco de madera de 4 por 6 pies

El producto 1 requiere parte de la capacidad de producción en las plantas 1 y 3 y nada en la planta 2. El producto 2 sólo necesita trabajo en las plantas 2 y 3. La división de comercialización ha concluido que la compañía puede vender todos los productos que se puedan fabricar en las plantas. Sin embargo, como ambos productos competirían por la misma capacidad de producción en la planta 3, no está claro cuál mezcla de productos sería la más rentable.

#### 4.3.2. Versión "informática"

Un servidor tiene una cola de tareas pendientes, agrupadas en lotes de 20. La atención (ejecución) de estas tareas requiere emplear ciertos tiempos del coprocesador matemático, la CPU y la memoria RAM.

Ahora deberá atender dos nuevos tipos de tareas: cifrado y compresión de datos, y cada tipo de tarea implica un consumo de ciclos de los procesadores o de uso de memoria. Cada vez que se concluye el procesamiento de un lote de tareas, se recibe un pago por ello y esa cantidad recibida se quiere maximizar.

Como se puede apreciar, el contexto del problema cambia completamente, de una fábrica de producción de puertas y ventanas a un servidor capaz de atender múltiples tareas simultáneas. Sin embargo, al agregar los valores establecidos en el problema original [13] (Ver la Tabla 1)

al nuevo ejemplo se obtiene el mismo modelo matemático, presentado a continuación.

Tabla 1. Parámetros para el problema de WYNDOR GLASS  
CO/servidor informático

Planta (Dispositivo)	Tiempo de producción (atención) por lote, horas		Tiempo de producción (atención) disponible a la semana, horas
	Producto		
	1 (cifrado)	2 (compresión)	
1 (CPM)	1	0	4
2 (CPU)	0	2	12
3 (RAM)	3	2	18
Ganancia por lote de 20	\$ 3000.00	\$ 5000.00	

Modelo matemático:

$$\text{Maximizar } Z = 3x_1 + 2x_2$$

sujeto a:

$$x_1 \leq 4$$

$$2x_2 \leq 12$$

$$3x_1 + 2x_2 \leq 18$$

y:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$$

#### 4.3.3. Otro ejemplo de versión “informática”

Otro caso donde la versión informática, además de motivar más a los estudiantes a través de su vinculación con la carrera, facilita la correcta comprensión de los problemas en cuestión es en los Problemas de Transporte. A continuación, puede apreciarse una versión informática de un problema de Transporte, en la cual el “transporte” no es más que la distribución de proyectos a resolver por distintos departamentos de desarrollo.

Una mini-empresa de software tiene dos departamentos de desarrollo de software y tiene que enfrentar varios proyectos: 5 de gestión de información, 6 de seguridad informática y 8 de aplicaciones web. Se quieren completar los proyectos en el menor tiempo posible. El primer departamento resuelve los problemas de gestión en 10 horas, los de seguridad en 15 horas y los de sitios web en 50 horas. El departamento 2 resuelve los mismos tipos de proyectos en tiempos de 10, 10 y 30 horas, respectivamente. El primer departamento tiene capacidad para enfrentar hasta 18 problemas y el segundo hasta 12.

#### 4.4. Otros cambios realizados

Por último, se pretende que la asignatura sea impartida por graduados de la especialidad y que se refuerce la relación de los contenidos de la misma con otras materias de la

carrera a través de la interdisciplinariedad. Así, se intenta que los estudiantes tengan una mayor apreciación de la vinculación real de la asignatura con el resto de los contenidos de la carrera y el ejercicio de la profesión.

La interdisciplinariedad es fácilmente realizable con las siguientes asignaturas y temas:

1. Álgebra Lineal (impartida en 1er año): existe una relación directa entre la resolución de Sistemas de Ecuaciones Lineales (SEL) a través del método de Gauss y la solución de problemas de Programación Lineal a través del método Simplex.

2. Matemática Discreta (impartida en 1er año): ambas asignaturas presentan varios puntos en común, resalta especialmente el del tema de Grafos o Redes Lineales. De aquí que los algoritmos de solución para problemas como: el Camino Mínimo, el Árbol de Expansión Mínimo o Flujo Máximo, sean vistos y tratados en las dos asignaturas. Esto se hace evitando repetir contenido ya recibido por los estudiantes.

3. Inteligencia Artificial (impartida en 3er año): en ambas asignaturas se tratan temas de Árboles de Decisión, heurísticas y metaheurísticas.

Por último y no menos importante, la asignatura ha sido estructurada para que en todas las semanas existan, al menos, dos tipos de actividades diferentes. La primera actividad de cada semana consiste en una clase teórica (Conferencia) en la que el profesor explica los contenidos fundamentales del tema y orienta los ejercicios de estudio independiente y la segunda, una práctica (Clase Práctica), en la que el protagonismo es de los estudiantes, pues estos deben resolver los ejercicios orientados y explicar sus soluciones al resto de los estudiantes.

De estas actividades prácticas, resaltan los llamados Seminarios. En estos, a cada estudiante se le orienta el estudio de un contenido del tema en cuestión (sea del libro de texto o de algún material complementario) y se les agrupa en equipos. La evaluación de esta actividad, consiste en la solución de un pequeño examen de 25 minutos de duración para cada equipo, con preguntas de todos contenidos orientados individualmente. Así, cada estudiante debe ser capaz de hacer llegar a sus compañeros de equipo el conocimiento adquirido durante el estudio independiente.

## 5. Resultados

A partir de los cambios realizados se comenzó a notar una mejoría en la calidad del desempeño docente de los estudiantes, sobre todo en las notas del Examen Final. En la Figura 2 pueden apreciarse los resultados de los últimos seis cursos, de los cuales en los últimos cuatro se han utilizado los cambios comentados. Puede observarse el sentido creciente de la tendencia de las evaluaciones. Igualmente puede apreciarse que no todos los estudiantes logran aprobar la asignatura, lo que permite confirmar que

se mantiene el nivel de exigencia en las clases y evaluaciones.

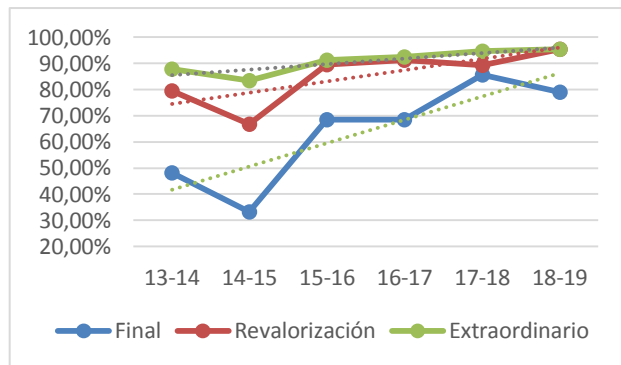


Figura 2. Resultados en las evaluaciones de IO en el periodo 2013-2014 y 2018-2019

Otro elemento significativo de la aplicación de estos cambios han sido los resultados de nuevas encuestas aplicadas a los estudiantes en cada curso, donde alrededor del 80 % de los criterios ofrecidos son valorados como positivos. De estos, vale destacar dos que señalan la calidad del nuevo claustro de profesores y el deseo de no cambiar nada en la asignatura.

Asimismo, otro aspecto a destacar resulta la buena participación de los estudiantes durante las actividades lectivas, ya sea en la resolución de ejercicios y problemas o dando respuestas a las preguntas realizadas por los profesores. De esta forma se nota que los estudiantes se han sentido más atraídos y motivados por la asignatura y, en muchos casos, han logrado obtener excelentes resultados durante el curso, permitiéndoles convalidar (el Examen Final. Dicha convalidación les permite obtener la máxima calificación en la asignatura sin tener que presentarse a la realización del Examen Final.

## Conclusiones

A partir de los cambios metodológicos llevados a cabo, los estudiantes logran encontrar un mayor vínculo con su futura profesión y con las asignaturas fundamentales de la carrera. Asimismo, estos cambios no llevan a la disminución de las exigencias por parte del claustro de profesores. Sin embargo, los estudiantes cuentan con una mayor cantidad de evaluaciones distribuidas durante todo el periodo lectivo, lo que les permite ir valorando sus resultados y les da la oportunidad de mejorar los mismos.

Según los resultados mostrados se puede afirmar que los cambios realizados han sido satisfactorios, pues no solo los estudiantes obtienen mejores resultados, sino que se muestran más motivados por la asignatura y encuentran una alta relación con su futura profesión. Por otra parte, el trabajo no se puede dar por concluido, pues aún quedan elementos por mejorar. Uno de ellos, es la extrapolación de las experiencias al diseño de la asignatura Simulación que continúa los temas de IO, o la futura unión de ambas en una asignatura más generalizadora.

De igual forma, se valora la introducción de nuevos conceptos educativa como la del "Aula Invertida" y el uso avanzado de las TIC, en los futuros planes de la asignatura.

## Agradecimientos

Queremos agradecer a todos aquellos profesores de nuestra Facultad que en algún momento han formado parte del claustro de la asignatura (David Paredes, Perla B. Fernández y Josman Vicens) o los de uno u otra forma han colaborado en su organización (Mailyn Moreno).

## Referencias

- [1] S. Bonder, "Operations Research Education: Some Requirements and Deficiencies," *Operations Research*, vol. 21, pp. 796-809, 1973.
- [2] W. J. Erikson and E. Turban, "Teaching operations research on microcomputers," *Omega*, vol. 13, pp. 191-200, 1985.
- [3] J. S. Liebman, "New approaches in operations research education," *International Transactions in Operational Research*, vol. 1, pp. 189-196, 1994.
- [4] J. J. Cochran, "You want them to remember? Then make it memorable! Means for enhancing operations research education," *European Journal of Operational Research*, vol. 219, pp. 659-670, 2012.
- [5] J. K. Winch and E. S. Cahn, "Improving Student Performance in a Management Science Course With Supplemental Tutorial Videos," *Journal of Education for Business*, vol. 90, pp. 402-409, 2015/10/03 2015.
- [6] M. A. Garay Garcell and R. Quintana Aput, "A hypermedia intelligent tutoring system for Operations Research Teaching," *OR Insight*, vol. 17, pp. 23-28, June 01 2004.
- [7] E. L. Perez-Montero and J. B. Ramirez, "Operations Research: from Strategy to Meaningful Learning," *Tecciencia*, vol. 14, pp. 9-14, Jan./June 2019.
- [8] D. M. Frances and D. Terekhov, "A Case-Based Undergraduate Operations Research Course," *INFORMS Transactions on Education*, vol. 19, pp. 67-80, January 2019.
- [9] X.-y. QU and T. Tian, "Exploration and Design of" Flipped Classroom" in the Teaching of Operations Research in the Background of" Internet+," *DEStech Transactions on Social Science, Education and Human Science*, 2017.
- [10] Joint Task Force on Computing Curricula, Association for Computing Machinery, and IEEE Computer Society, "Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering," ACM2015.

- [11] Joint Task Force on Computing Curricula, Association for Computing Machinery, and IEEE Computer Society, *Computer Science Curricula 2013: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science*: ACM, 2013.
- [12] E. Sánchez-Ansola, R. Acosta-Sánchez, A. Rosete-Suárez, and P. Fernández-Oliva, "Lecciones aprendidas en la impartición de la asignatura Matemáticas Discretas," *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, no. 17, pp. 30-37, junio 2016.
- [13] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Novena edición ed. México: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2010.

*Información de contacto de los Autores*

**Eduardo Sánchez-Ansola**

Calle 114 # 11901 e/ Ciclovía y Rotonda Marianao  
La Habana  
Cuba

[esancheza@ceis.cujae.edu.cu](mailto:esancheza@ceis.cujae.edu.cu)

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5977-1633>

**Alejandro Rosete Suárez**

Calle 114 # 11901 e/ Ciclovía y Rotonda Marianao  
La Habana  
Cuba

[rosete@ceis.cujae.edu.cu](mailto:rosete@ceis.cujae.edu.cu)

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4579-3556>

**Eduardo Sánchez-Ansola**

MSc. en Informática Aplicada por la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Profesor Asistente de la Facultad de Ingeniería Informática con 8 años de experiencia docente.

**Alejandro Rosete Suárez**

Dr. en Ciencias Técnicas (especialidad Informática) por la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería Informática con más de 20 años de experiencia docente.