

# MÁSTER INTERUNIVERSITARIO

## MÉTODOS FORMALES EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

**Ricardo Peña**

**Coordinador académico del máster**

**Departamento Sistemas Informáticos y Computación**

**Universidad Complutense Madrid**

**Juan de Lara**

**Coordinador máster en UAM**

**Departamento de Ingeniería Informática**

**Universidad Autónoma de Madrid**



UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID



POLITÉCNICA

# LOS MÉTODOS FORMALES

**Métodos formales: Métodos de desarrollo de software que emplean técnicas matemáticas para asegurar su corrección**

**Fallos en software crítico pueden ocasionar grandes pérdidas económicas, y poner en peligro vidas humanas**

- Formalización pobre (o inexistente) de requisitos o diseño
- Ausencia de verificación rigurosa de su implementación

# LOS MÉTODOS FORMALES

Métodos formales

Factores de éxito



Metodología de desarrollo de

(suficiente) de requisitos o diseño  
completa de su implementación

# LOS MÉTODOS FORMALES

Mé  
so  
as

Breast cancer scan error may have led to death of 270 women in England

USNews

ALEXA LARDIERI  
May 3rd 2018 10:25AM



VA241 • SES-14 & Al Yah 3 - January 25, 2018



(tente) de requisitos o diseño  
osa de su implementación

# LOS MÉTODOS FORMALES

Mé  
so  
as



Breast cancer scan error may have led  
to death of 270 women in England

USNews

ALEXA  
May 3rd



# LOS MÉTODOS FORMALES

**Los métodos formales se utilizan en:**

- Sistemas críticos
- Sistemas autónomos
- Servicios de amplio uso
- Infraestructuras de transporte (ferroviarias, aéreas,...)
- ...

**Grandes empresas, como Microsoft, Facebook, Google o Amazon potencian un uso creciente de los métodos formales en sus procesos de desarrollo.**

# MÉTODOS FORMALES Y TÉCNICAS MATEMÁTICAS

Ejemplos de uso de métodos formales/técnicas matemáticas en el desarrollo de software:

- **Especificación formal** de requisitos usando lógica, para encontrar contradicciones o errores automáticamente
- **Análisis estático** de programas para encontrar posibles errores
- **Verificar** de manera **exhaustiva** que un sistema (de estado finito) es conforme a una especificación (p.ej., en lógica temporal)
- Diseño de **lenguajes de programación** con propiedades de corrección
- Especificación de **modelos de cómputo alternativos** (bioinspirados, computación cuántica, aprendizaje automático) y de sus herramientas de desarrollo.

# CARÁCTER DEL MÁSTER

Un curso académico, 60 ECTS

**Valor añadido:** interuniversitario de la UCM, UAM y UPM

- En aulas de la UAM/UCM (1er c.) y UCM/UPM (2o c.)

Impartición en **inglés**, vocación internacional

Temática altamente especializada, único en España

Orientación profesional y científica



# CARÁCTER DEL MÁSTER

## Perfil de los egresados:

- Profesionales informáticos de alta cualificación capaces de abordar problemas complejos que requieran soluciones de alta fiabilidad
- Ingenieros con una base sólida para iniciar una carrera investigadora en grupos de la universidad, o en centros de investigación

## Perfil de los contenidos:

- Materias informáticas con una importante componente matemática

## Perfil de los destinatarios:

- Graduados en Ingeniería Informática con fuerte inclinación por el rigor y la formalización
- Graduados en Matemáticas con perfiles de computación
- Dobles graduados en ambas disciplinas

# **SALIDAS EN INDUSTRIA**

## ***ALGUNOS CASOS DE ÉXITO (1/2)***

El software de la línea 14 del **metro de París**, controla trenes sin conductor con frecuencias de paso de 2 minutos y transporta hasta 40.000 viajeros a la hora. Fue desarrollado siguiendo el método B, en 1998.

El software de control de la **barrera anti-inundaciones** que protege el **puerto de Rotterdam**. Desarrollado con Z y PROMELA, y la herramienta SPIN, en 1998.

Los analizadores estáticos de la empresa AbsInt (Alemania, 1998) han sido usados por numerosas empresas, entre ellas **Airbus** (software de control del A-340 y del A-380), la **U.S. National Highway Traffic Safety Administration**, y la **NASA** (software del Jules Verne Automated Transfer Vehicle).

Uso de TLA+ y del TLC model checker en el desarrollo de los **Amazon Web Services**, a partir de 2013

# **SALIDAS EN INDUSTRIA**

## ***ALGUNOS CASOS DE ÉXITO (2/2)***

Descubrimiento y reparación de un error en el **algoritmo TimSort para Android** (desde 2002, en millones de dispositivos), utilizando la plataforma de verificación KEY, en 2015.

Diseño por parte de la NASA de antenas mediante **algoritmos evolutivos** al principio de siglo.

Aplicación de PSO (inspiración en sistemas de partículas) y ACO (inspiración en conducta de hormigas) a la **optimización** de la **gestión de energía eléctrica**, planificación de rutas tanto ferroviarias como de flotas, Big Data, y múltiples aspectos de diseño industrial.

Aplicación de *P-systems* (inspiración en membranas) a la **simulación de sistemas complejos** (poblaciones de quebrantahuesos en los parques naturales de los pirineos, de mejillón cebra y su efecto en los embalses con instalaciones hidroeléctricas)

# **SALIDAS EN INDUSTRIA**

## ***HERRAMIENTAS (1/2)***

- Model Checking:** SPIN, PAT, ROMEO, TLA-TLC, Java Pathfinder, . . .
  - Demostradores automáticos SAT y SMT:** Z3, CVC4, Yices, Alt-Ergo, . . .
  - Asistentes de demostración:** ACL2, PVS, Isabelle/HOL, Coq, Lean, . . .
  - Herramientas para demostrar la terminación:** Aprove, Mu-TERM, Rank, FUNCTION, . . .
  - Plataformas de verificación asistida:** Dafny, Why3, Key, Liquid Haskell, Spark, Alloy, . . .
  - Lenguajes/sistemas de especificación formal:** VDM, Z, OBJ, Maude, . . .
  - Analizadores estáticos** para demostrar consumo acotado de recursos, síntesis de invariantes, ausencia de bloqueos, . . .
- La mayoría, desarrolladas en universidades, pero algunas en centros de investigación de la **NASA**, de **Bell Laboratories**, o de **Microsoft**

# **SALIDAS EN INDUSTRIA**

## ***HERRAMIENTAS (2/2)***

**Lenguajes de programación cuánticos:** Qiskit, ProjectQ, ...

- Carrera de grandes empresas como IBM y Google por desarrollar computadores cuánticos con IonQ a la cabeza temporalmente.

**Librerías y sistemas para aprendizaje automático:** TensorFlow, scikit-learn, Pandas, etc.

**Algoritmos bioinspirados:**

- Disponibilidad en varios lenguajes de programación de librerías de algoritmos genéticos, inteligencia enjambre, etc
- Plataforma **P-Lingua** para la programación con sistemas basados en membranas.

# **SALIDAS EN INVESTIGACIÓN**

## ***GRUPOS DE INVESTIGACIÓN***

**Presencia a primer nivel internacional de instituciones y grupos españoles de investigación**

**Ejemplos:**

- COSTA, DTRS, FADoSS (UCM)
- AIDA, GAA, MISO (UAM)
- BABEL, CLIP (UPM / IMDEA Software Institute)
- ELP, MiST (UPV)
- SCENIC (UMA)
- ALBCOM y otros (UPC)
- The IMDEA Software Institute

**Temas de investigación:** Diseño de lenguajes de programación, lenguajes de prototipado, programación declarativa y con restricciones, sistemas concurrentes y distribuidos, análisis estático, verificación asistida, verificadores automáticos, testing formal y criptografía, entre otros.

# **SALIDAS EN INVESTIGACIÓN**

## ***ACTIVA Y CRECIENTE COMUNIDAD***

Conferencias sobre métodos formales con indicadores de impacto A y A\* (CORE-2018): **POPL, PLDI, STOC, ICFP, LICS, CAV, FOCS, ITP, ESOP, FME, ITCS, ICALP, CADE, CONCUR, ICLP, CP, RTA, ICTL, SAT, IJCAR, ILPS, ATVA, FLOPS, STACS, LPAR, SAS, TACAS.**

En total, 27 de 412: el 6,5% de las conferencias con esos índices

Revistas sobre métodos formales en las categorías A y A\* (CORE-2010): **ACM Trans. on Computational Logic, ACM Trans. on Programming Languages, Acta Informática, Constraints, Formal Methods in System Design, Foundations of Computational Mathematics, Journal of Applied Logic, Journal of Automated Reasoning, Journal of Functional Programming, Journal of Logic and Computation, Journal of Symbolic Computation, Logical Methods in Computer Science, Mathematics of Computation, Science of Computer Programming, SIAM Journal on Scientific Computing, Journal of Logic and Algebraic Programming, Theoretical Computer Science, Theory and Practice of Logic Programming, Theory of Computing.**

En total, 19 de 234: el 8,1% de las revistas con esos índices

# **SALIDAS EN INVESTIGACIÓN**

## ***FLOC 2018 – OXFORD (UK)***

80 conferencias y workshops a lo largo de 15 días

Entre ellas: **Formal Methods Europe, Computer Aided Verification, Logics in Computer Science, IJCAR, SAT, ITP, ICLP, ...**

2000 investigadores (entre ellos, al menos 15 españoles)

30 empresas patrocinadoras:

- Google, Microsoft, Fujitsu, IBM, Intel, ...
- NASA, NSF, Springer, Academic Press, Oxford University Press, ...
- Amazon, Boeing, Toyota, Huawei, ...

**Workshop on Formal Methods in Industry**, ponentes invitados:

- Byron Cook: **Automatic Reasoning Group de Amazon**
- Peter O'Hearn: **Static Analysis Group de Facebook** (antes Monoidics)
- Domgoj Babi: **Software Analysis Group de Google**
- Reportan el uso de numerosas herramientas: SMT, analizadores estáticos, model checking, . . . ) y la verificación formal de algunas partes críticas relacionadas con la seguridad



# EL MÁSTER EN MÉTODOS FORMALES

## Plan de Estudios

Tipo de asignatura	ECTS
Obligatorias	18
Optativas	30
Trabajo Fin de Máster	12
<b>Total</b>	<b>60</b>

# EL MÁSTER EN MÉTODOS FORMALES

## Asignaturas Obligatorias:

- Análisis estático de programas y resolución de restricciones (6 ECTS)
- Modelos de concurrencia (6 ECTS)
- Teoría de lenguajes de programación (6 ECTS)
- Trabajo de fin de máster (12 ECTS)

# EL MÁSTER EN MÉTODOS FORMALES

## Asignaturas Optativas (todas 6 ECTS):

- Análisis de sistemas concurrentes y distribuidos
- Aprendizaje automático
- Computación cuántica
- Desarrollo formal de software dirigido por modelos
- Diseño de algoritmos bioinspirados
- Diseño de sistemas correctos por construcción
- Diseño y análisis de protocolos de seguridad
- Métodos formales de testing
- Verificación asistida de programas
- Prácticas en empresa o en grupos de investigación

**¡GRACIAS!**

# ¿Preguntas?

[Coordinador.Master.MetodosFormales@uam.es](mailto:Coordinador.Master.MetodosFormales@uam.es)  
[ricardo@sip.ucm.es](mailto:ricardo@sip.ucm.es)



UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID

**UAM** Universidad Autónoma  
de Madrid



POLITÉCNICA 20