

LA ESCALERA DE LA COMPLEJIDAD VIDA ARTIFICIAL II

● ÁNGEL DE LA ENCARNACIÓN GARCÍA BAÑOS ●



Universidad
del Valle

Programa  Editorial

Este libro es una mezcla de ensayo e investigación acerca de cómo usar las herramientas presentadas en el libro anterior con el objetivo de crear sistemas de complejidad creciente que nos llevan hacia entes con libertad, inteligencia y consciencia. En particular, hago un desarrollo completamente nuevo sobre este último tema, la consciencia, explicada desde un punto de vista computacional. Ya tengo un artículo publicado sobre ello, otro sometido a revisión en una revista y otro en curso de escribirlo. Quiero resaltar la importancia del tema, por lo que es preciso su divulgación. La consciencia ha sido el último rincón oscuro de la ciencia durante demasiados años, y no ha habido propuestas interesantes para resolverlo hasta ahora.

Se explica la complejidad, como se puede definir y medir. Introduce los conceptos de emergencia, cambio de fase, auto organización, si la complejidad puede crecer indefinidamente y si es un fenómeno gradual o no. Como propuesta original, presento un algoritmo evolutivo que sirve para generar complejidad de manera universal.

Lo siguiente que aparece en la escalera de la complejidad es la inteligencia, para lo cual no se requiere mucho. Ofrezco una definición de inteligencia basada únicamente en la capacidad de predecir. Se es más inteligente cuanto mejores predicciones se hacen respecto al sucesos futuros y cuando más profundamente en el tiempo se pueda hacer. La inteligencia es entonces un complementario de la libertad (no contrario, sino complementario, pues se ayudan mutuamente a crecer). Sin olvidar los recientes avances en Deep Learning de la Inteligencia Artificial, se presenta una propuesta de los distintos algoritmos que usa la inteligencia. Además se plantea que toda inteligencia es colectiva.



Universidad
del Valle

LA ESCALERA DE
LA COMPLEJIDAD
VIDA ARTIFICIAL II

ÁNGEL DE LA ENCARNACIÓN GARCÍA BAÑOS



Colección Ciencias Naturales y Exactas

García Baños, Ángel de la Encarnación

La escalera de la complejidad. Vida artificial II / Ángel de la Encarnación García Baños. -- Cali : Programa Editorial Universidad del Valle, 2019.

356 páginas : ilustraciones ; 24 cm. -- (Colección ciencias naturales y exactas)

Incluye bibliografías.

1. Realidad virtual 2. Inteligencia artificial 3. Simulación por computadores 4. Complejidad computacional I. Tít. II. Serie. 006.3 cd 22 ed.

A1644720

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Universidad del Valle

Programa Editorial

Título: *La escalera de la Complejidad. Vida artificial II*

Autor: Ángel de la Encarnación García Baños

ISBN PDF: 978-958-765-986-3

Colección: Ciencias Naturales y Exactas

Primera edición

Rector de la Universidad del Valle: Édgar Varela Barrios

Vicerrector de Investigaciones: Jaime R. Cantera Kintz

Director del Programa Editorial: Omar Díaz Saldaña

© Universidad del Valle

© Ángel de la Encarnación García Baños

Diseño y diagramación: Alejandro Soto Perez

Corrección de estilo: María Camila Cuenca O.

Este libro, o parte de él, no puede ser reproducido por ningún medio sin autorización escrita de la Universidad del Valle.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión del autor y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad del Valle, ni genera responsabilidad frente a terceros. El autor es el responsable del respeto a los derechos de autor y del material contenido en la publicación, razón por la cual la Universidad no puede asumir ninguna responsabilidad en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, septiembre de 2019

LA ESCALERA DE
LA COMPLEJIDAD
VIDA ARTIFICIAL II



Colección Ciencias Naturales y Exactas

Ángel de la Encarnación García B.

Madrid, España en 1960. Completó sus estudios de Ingeniero de Telecomunicación en 1985 en la Universidad Politécnica de Madrid. En 1987 se afincó en Colombia trabajando independientemente en su propia empresa. En 1993 ingresa a la Universidad del Valle, como profesor de Electrónica en temas que van desde los microprocesadores, interfaces, lógica digital, FPGAs, VHDL y tiempo real. En esa época realiza su doctorado en la Universidad Politécnica de Valencia, España, graduándose en 1999. A partir de allí se traslada al departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación donde trabaja en temas de programación orientada a objetos, sistemas operativos, vida artificial y computación evolutiva. Fundó el laboratorio EVALAB (Evolución y Vida Artificiales) y el grupo de investigación GUIA en Inteligencia Artificial. Hizo parte durante varios años del grupo de filosofía de la mente MENTIS. Autor de múltiples artículos publicados en revistas y actas de congresos.

CONTENIDO

PREFACIO	11
INTRODUCCIÓN	19
¿Para qué sirve la vida artificial?	19
Muchos mundos	20
Mundos reales y mundos virtuales	23
Resumen	26
Referencias	27

CAPÍTULO 1

COMPLEJIDAD	29
¿Por qué se genera complejidad de forma espontánea?	35
Complejidad versus entropía	41
¿Cómo medir la complejidad de un sistema?	46
La gradualidad y la emergencia	54
¿La complejidad puede crecer indefinidamente?	57
Emergencia, transiciones de fase y autoorganización	63
Generador de complejidad evolutivo	81
Resumen	87
Referencias	93

CAPÍTULO 2

LIBERTAD	97
¿Cómo conseguir libertad?	106
Libertad y emergencia	108
Libertad y transiciones de fase	108
Resumen	109
Para saber más	109
Referencias	111

CAPÍTULO 3

COMPUTACIÓN COMPLETA	113
Grafos	114
Computación universal	118
¿Qué es un simulador?	119
Límites computacionales	127
¿Qué importancia tienen estos límites?	151
Resumen	160
Para saber más	161
Referencias	161

CAPÍTULO 4

VIDA	163
Vida es inteligencia	167
Vida es reproducción	169
Vida es evolución	174
Vida es competencia, pero también cooperación	189
Resumen	201
Para saber más	202
Referencias	203

CAPÍTULO 5

INTELIGENCIA	207
Definición de inteligencia	213
Medición de la inteligencia	218
¿Somos los humanos inteligentes?	221
Clasificación de los problemas de IA	224
¿Cómo razonan los robots?	234
¿Cómo razonamos los humanos?	238
Inteligencia colectiva	247
Nueva perspectiva	258
Resumen	260
Para saber más	262
Referencias	264

CAPÍTULO 6

CONSCIENCIA	269
Una propuesta computacional para entender la consciencia	281
El “hard problem”	292
La consciencia es la burocracia del cerebro	302

Resumen	306
Para saber más	307
Referencias	308

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES	313
Libertad e inteligencia	320
Otra forma de modelar la reproducción	321
Despedida	324
Resumen	327
Referencias	328

CAPÍTULO 8

SOLUCIÓN A PROBLEMAS DE INGENIO	331
Las 12 monedas	331
¿Cuál es el sistema más complejo?	333
Algoritmo descriptor	333
El bar “El Farol”	334
Teorema de la amistad	334
Galletas para todos	335
Acertijo MU	336
Dos autoreferencias divertidas	337
El barbero de Sevilla	337
Paradoja de Richard	338
Lo que Henry decidió	339
Campeón en reproducción	341
Comunicaciones en 2D	342
En la consulta médica	342
¿De cuántas formas sabes multiplicar 15x18?	343
Salvar el foso	344
NIM	344
Detectar engaños	345
Las tres puertas	345
Aplanando la circunferencia	347
Punto fijo de Palmira a Tuluá	347
Arrugando papeles	348
La vela	349
Para saber más	350
Referencias	351
GLOSARIO	353

PREFACIO

La vida artificial es una disciplina relativamente nueva que surgió en 1987 en el primer congreso sobre el tema. Fue definida por su organizador Christopher Langton como “la vida, no como es, sino como podría ser”. A pesar de que llevamos trabajando durante tres décadas, considero que todavía es una disciplina poco madura pues le falta alcanzar su objetivo principal: crear vida artificial en el computador. Esto lo menciono sin pretender menoscabar los grandes avances que se han dado en el campo y que veremos a lo largo de este libro, pero lo cierto es que todavía no hemos logrado un gran éxito, como desarrollar un robot autónomo que se desenvuelva por su cuenta y que podamos decir que “es como si estuviese vivo”.

Pero ya casi.

El interés por esta disciplina ha ido en aumento y desde su comienzo se han escrito algunos libros muy buenos, aunque también podríamos decir que no han sido muchos. Cuando uno los lee se queda deslumbrado ante una variedad de técnicas, conceptos y ejemplos sorprendentes, pero que no se sabe muy bien a qué apuntan o por qué están allí. ¿Qué tiene que ver el caos con los autómatas celulares? ¿Usando ambos se logrará vida artificial? ¿Por qué? Y, por cierto, ¿qué es la vida artificial y cuáles son sus aplicaciones e importancia, aparte de hacer dibujos animados muy realistas? Estas y muchas más son preguntas que surgen en los interesados en la vida artificial.

Y ahora, en lo que atañe más directamente al texto que propongo, ¿en qué se diferencia de otros que tocan el mismo tema? El tema es tan amplio que se hizo necesario separarlo en dos libros (aunque podrían ser más en el futuro): en el primero, titulado *Herramientas para construir mundos*, contemplo todas

las técnicas en detalle para que sirvan como ayuda a cualquier programador, informático o científico de la computación al desarrollar su propio *software*. A continuación presentaré una visión general de estos tópicos.

En primer lugar se habla de la realimentación, que ocurre cuando las acciones que realizas sobre un objeto de alguna manera se devuelven sobre ti, con lo cual la idea de causa y efecto se desvanece, a la vez que se hace más difícil predecir lo que cada acción va a desencadenar.

En el siguiente capítulo se presentan los fractales, unos objetos muy bonitos, con muchos detalles y colores, que se fabrican a partir de una fórmula matemática tan simple que nadie lo creería. Además, no parecen ser objetos comunes de una, dos o tres dimensiones —que corresponderían aproximadamente a una cuerda, una hoja de papel o una mesa—, sino que pueden tener otras dimensiones que no son números enteros, como 0.8 o 2.45.

Luego hacen su aparición los fenómenos caóticos, para los que es imposible predecir a largo plazo cuál va a ser su comportamiento, a pesar de conocerse todos sus detalles de funcionamiento y no contener ningún proceso que dependa del azar. El ejemplo más conocido es el clima y, gracias a ello, tenemos tema de conversación sobre cómo se han equivocado en las predicciones de ayer de la televisión. Sin embargo, existen muchos otros fenómenos caóticos que van desde las cotizaciones de acciones en la bolsa hasta nuestros propios movimientos al caminar, e incluso fenómenos fisiológicos como los latidos del corazón.

Pasamos luego a las leyes de potencia, las cuales son distribuciones de probabilidad que ocurren tanto en el ámbito humano como en las ciencias naturales. Se caracterizan porque hay unos pocos fenómenos dominantes que consumen la mayor parte de los recursos de un sistema. Muchas veces se enuncia de esta forma: el 20% de los clientes de un negocio generan el 80% de los beneficios; el 20% de las líneas de código de un programa son las causantes del 80% de los *bugs*; el 20% de las páginas web son visitadas por el 80% de los navegantes; el 20% de los terremotos producen el 80% de las víctimas. Son innumerables.

Estos cuatro conceptos, realimentación, fractales, caos y leyes de potencia, están entrelazados. Siempre que se da uno aparecen los demás —aun cuando la realimentación es el más fundamental—, y todos generan mucha complejidad a partir de muy poco. Son procesos creativos.

Los algoritmos evolutivos descritos en el sexto capítulo, son una generalización del proceso de la evolución descubierto por Darwin, y se aplican a todo tipo de problemas donde haya que buscar una solución u optimizarla. Y cuando digo “todo tipo” no estoy exagerando, pues sirven para problemas de *software*, de economía, de matemáticas, de diseño industrial, para jugar

y ganar cualquier juego e incluso para crear música o pintura. Posiblemente sean los algoritmos más simples que existen, pero a cambio son muy versátiles y robustos, tanto que se consideran uno de los pilares de la inteligencia artificial. Y aunque hay que admitir su lentitud, eso no es una gran desventaja gracias a la potencia de los computadores actuales. Después de todo, la evolución biológica necesitó varios miles de millones de años para llegar al cerebro humano. Con los computadores actuales se pueden lograr resultados interesantes en cuestión de minutos. Los algoritmos evolutivos son grandes creadores de complejidad, mucho más que los cuatro procesos anteriores. Sin embargo, exigen una condición difícil de lograr de forma espontánea: que los entes que van a evolucionar sean capaces de realizar copias de sí mismos. Todo ello lo analizaremos en detalle.

En el séptimo capítulo se presenta una somera introducción a la teoría de juegos, con el objetivo de entender cómo emerge la cooperación a partir de los procesos evolutivos que, en principio, son todo lo contrario (son competitivos). Veremos que la cooperación genera complejidad en cantidades enormes, mucho más que los algoritmos evolutivos por sí solos.

Por último, veremos los autómatas celulares, entendidos como una gran cantidad de individuos idénticos y muy simples, donde cada uno se comunica solo con sus vecinos. No hay ningún dato global ni tampoco un control central. A pesar de ello, y a partir de comportamientos tan simples, la sociedad en su conjunto puede desarrollar una complejidad todavía mayor a las que hemos enumerado. En particular, estudiaremos que una sociedad así es capaz de sacar copias de sí misma y de hacer cualquier tipo de cómputo.

Todo lo anterior forma parte del bagaje bien conocido en el mundo de la vida artificial, pero quiero presentarlo de una manera nueva que ya estoy mencionando a cada momento: como generadores de complejidad. La importancia de esto radica en la idea intuitiva que tenemos acerca de que los sistemas simples no pueden hacer mucho, mientras que los sistemas complejos pueden moverse, reaccionar a estímulos, adaptarse a su entorno, pensar e incluso ser conscientes de sí mismos (que son temas que veremos en el segundo libro). Por ello necesitamos primero conocer estas técnicas que fabrican sistemas complejos.

También para los programadores presento un ejemplo de algoritmo evolutivo, escrito por mí en lenguaje Ruby y usando metodología BDD (*Behavior Driven Development*) con la herramienta Cucumber. Uso Ruby porque es un lenguaje sencillo y elegante, con mínima sintaxis y gran expresividad. Después de 30 años programando principalmente en C++, que es perfecto pero complicado, y luchando contra muchos otros lenguajes incoherentes, descubrir Ruby ha sido una sorpresa refrescante pues me permite escribir

código conciso con poco esfuerzo. Pero sé que no es un lenguaje muy popular, de modo que en los apéndices también ofrezco una introducción básica a Ruby y Cucumber¹.

En el segundo libro, *La escalera de la complejidad*, exploro los aspectos filosóficos de la vida artificial bajo un hilo conductor que es, como indica el título, la complejidad. Veremos que, conforme aumenta, emergen propiedades nuevas por las que podremos decir que hemos creado un mundo computacional que disfruta de libertad, que está vivo, que es inteligente, o incluso que es consciente. A cada uno de estos temas les dedico un capítulo. Doy un enfoque nuevo a lo que significa libertad e inteligencia. Y presento mi visión de lo que es la consciencia bajo un punto de vista computacional, despojándola de todo misterio. La consciencia tiene varios aspectos que han desconcertado desde siempre a los filósofos, pero todos son entendibles desde esta perspectiva. Quizás sea este el aporte más importante de los dos libros.

Como veremos también, todas estas propiedades son graduales. Hay una cierta inteligencia en una ameba e incluso en un destornillador². Y aunque consideramos que tanto plantas como animales están vivos, en los animales la vida alcanza más posibilidades, como moverse rápidamente. Lo mismo se puede decir de la consciencia que existe en diversos grados en los animales y tal vez incluso en las plantas. De modo que es natural la aparición simultánea de varias propiedades. Si las presento en este orden es porque la consciencia más sofisticada que conocemos requiere un poco más de complejidad que la inteligencia más sofisticada que conocemos, que a su vez requiere más complejidad que la vida, y así sucesivamente. Explicaré que el único salto notable en complejidad se da al pasar de objetos que pueden computar a objetos vivos. Los demás saltos son relativamente pequeños. Y por eso utilizo como hilo conductor la complejidad, que es simplemente una fórmula. Al final, todos estos temas se reducen a matemáticas y, más concretamente, a computación.

1 En el siguiente enlace al depósito de *software* Github se encuentra la información actualizada del libro con las erratas, el *software* y hojas de cálculo desarrolladas para este su realización: <https://goo.gl/EB4gTq>

2 La mera existencia de los destornilladores y sus formas insinúan la existencia de los tornillos. Los tornillos no se podrían manipular sin el destornillador, de modo que el destornillador es como un artefacto de inteligencia congelada, que ayuda a realizar ciertos trabajos. En este sentido, posee una cierta inteligencia aun cuando no esté vivo.

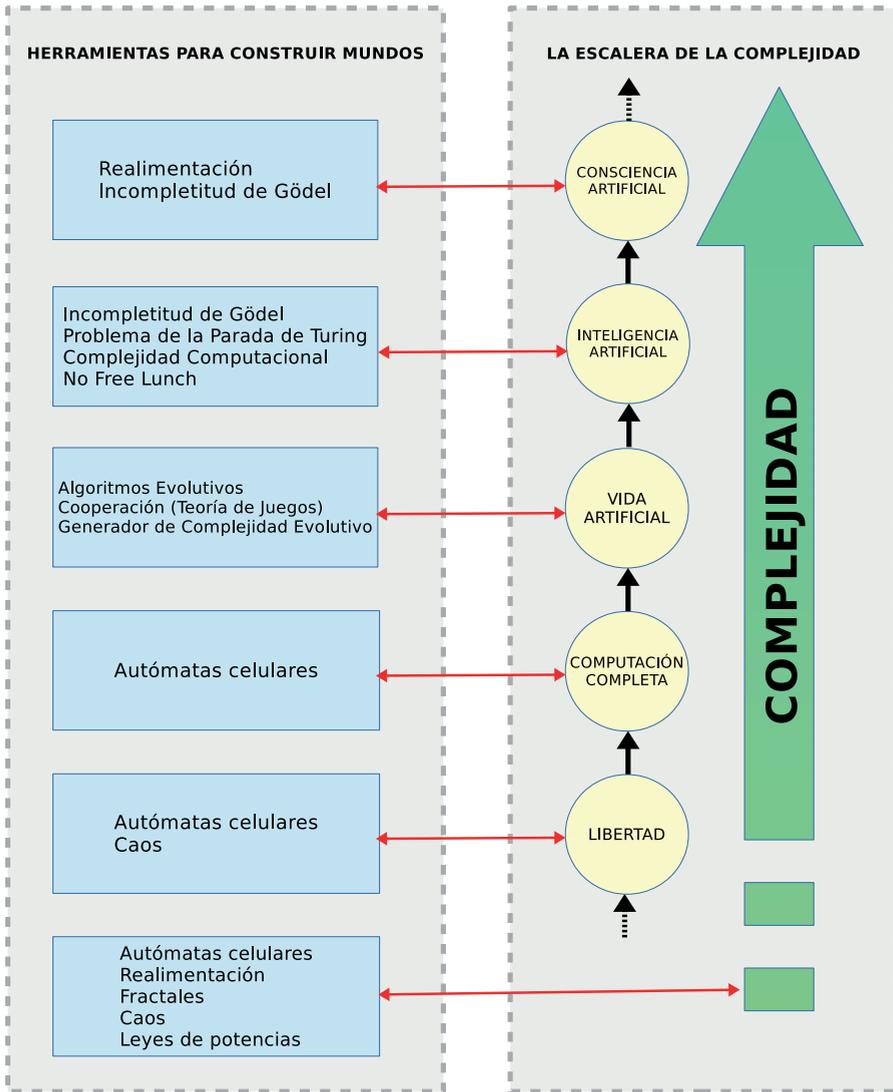


Figura 1. Estructura de los dos libros y relaciones entre ellos

Además, presento una idea nueva: un generador de complejidad evolutivo, que toma varios de los conceptos expuestos y los combina para crear una herramienta potente y general para fabricar sistemas complejos.

En resumen, el primer libro es de sistematización del conocimiento para programadores, mientras que el segundo libro es de investigación, más filosófico. En la figura 1 vemos de abajo hacia arriba los temas que desarrollo en cada libro y la correspondencia entre ellos, es decir, qué herramientas hace falta conocer para entender cómo se caracteriza la complejidad de cada nivel de emergencia.

En ambos libros también incluyo recuadros que contienen información paralela: en color azul están unas pequeñas notas bibliográficas de los personajes más importantes que han contribuido en estos temas; en color verde hay problemas de ingenio que ilustran alguna idea recién presentada o que se va a presentar; y en amarillo están las ideas más importantes que deseo resaltar. Al final de cada libro incluyo las soluciones a esos problemas de ingenio que voy proponiendo para estimular la reflexión sobre ciertos temas.

Verás que con cierta frecuencia menciono cuentos y películas de ciencia ficción. Eso no hace que los libros sean menos rigurosos. Lo que hay que entender es que la investigación tiene dos fases, y cuando formulas una hipótesis, diseñas experimentos y verificas si los resultados están o no de acuerdo con la hipótesis, estás en la segunda fase. No se suele hablar de la primera fase —las ideas iniciales que llevan a plantear la hipótesis—, seguramente porque nadie sabe cómo hacerlo, no hay una metodología que te lleve a las buenas ideas.

Simplemente se requiere inspiración. Y es allí donde las novelas y películas que exploran libremente el futuro sin censuras, sin revisión de pares ni otra atadura, pueden servir como chispa creativa para generar esas buenas ideas. Un momento acertado para capturar las ideas generadas por el inconsciente se da al despertar, cuando aún no se ha logrado vencer del todo el sueño. El lóbulo frontal del cerebro no parece estar activado todavía, censurando los pensamientos para que sobrevivan únicamente los que están acordes con la realidad comúnmente aceptada, en una especie de proceso evolutivo de las ideas. Y, con la censura dormida, eso permite que surjan las ideas más locas. A veces incluso nos sirve estar distraídos en una actividad manual —como lavar los platos— para bajar el umbral de censura. Si quieres continuar investigando en estos temas te animo entonces a que leas mucho y veas cine, especialmente de ciencia ficción dura, y a que laves los platos con mayor frecuencia.

Además, en las referencias incluyo diversos videos, algunos de TED y otros de YouTube. Los primeros son reconocidos por su alta calidad y en ellos participan investigadores de primera línea. Se puede criticar a los segundos, debido a que son publicados libremente sin pasar por una revisión de pares. Y es verdad. Pero lo cierto es que a veces un video o una animación son más esclarecedores que todo el texto que yo pueda escribir aquí, de modo que corro gustoso el riesgo.

El público objetivo son los estudiantes que habitualmente toman mis asignaturas electivas de “Computación evolutiva” y “Vida artificial”, donde el requisito principal es tener experiencia en programación de computadores. No obstante, dada la época en que vivimos donde cualquier persona debería

saber leer, escribir, la aritmética básica y programar, no es descabellado decir que estos dos volúmenes son también de divulgación, asequibles a personas con una mínima formación científica. En cualquier caso, cada libro se puede leer de manera independiente de acuerdo al interés del lector.

Desde el año 2000 trabajo como profesor en la Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del Valle, dictando varias asignaturas incluidas las ya mencionadas. En estos libros pretendo reunir todo el material de clase, darle una coherencia y mayor profundidad, así como añadir algunos temas nuevos. Para entender rápidamente en qué consisten estas asignaturas te diré que la computación evolutiva abarca muchos algoritmos de optimización inspirados en la evolución de Darwin, aunque aquí los mostraré desde otra perspectiva: algoritmos creativos. Y con la vida artificial se intenta construir mundos artificiales en el computador donde emerjan objetos con comportamientos tan complejos que pueden considerarse vivos, es decir, que se adaptan a su medio y se reproducen, colaborando o compitiendo con otros objetos.

Al pensar en el diseño de mundos artificiales es inevitable la pregunta de si nuestro propio mundo también lo es, o sea, si vivimos dentro de un computador, *a la Matrix*, o en alguna otra variante. Intentaré justificar una respuesta afirmativa a esta pregunta, bastante relacionada con una nueva concepción de la Física llamada *Digital Physics*, de la que haré algunos breves comentarios. El mundo es solo información.

Quiero agradecer a mi esposa Helga Rocío por todo su apoyo durante la escritura de estos libros, por hacer la primera revisión, ayudarme a organizar las referencias y hacer algunos bonitos dibujos. A mi hija Maya por ayudarme con la revisión del inglés de algunos artículos relacionados con este trabajo. Y a mi hermano Rafa por encontrar algunos de los errores más insospechados. El libro lo escribí en España durante mi año sabático del 2016-2017.

Y por ello también agradezco a la Universidad del Valle, pues nos ofrece a los profesores un tiempo para desarrollar ideas sin las presiones académicas y administrativas de todos los días. En la Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación disponemos del laboratorio EVALAB (evolución y vida artificiales), uno de varios donde opera el grupo GUIA de investigación en inteligencia artificial al que pertenezco. En ese laboratorio trabajan o han trabajado varios profesores (Irene Tischer, Víctor Andrés Bucheli Guerrero, Raúl Gutiérrez de Piñérez Reyes, Henry Antonio Saltaren Quiñones, Gabriel Conde Arango) y muchos estudiantes de pregrado, maestría y doctorado cuyos proyectos de fin de carrera se mencionan en el libro. Entre estos estudiantes, ahora ingenieros, quiero agradecer a Cristian Leonardo Ríos

López que me haya cedido muy amablemente varias figuras de su trabajo de grado, y a Eider Falla que me haya permitido mostrar su *software* de la bandera francesa. Las discusiones con todos estos profesores y estudiantes han sido muy enriquecedoras a lo largo de tantos años, y recuerdo con especial agrado las reuniones de los martes en la tarde en el laboratorio y las generales en Piedralinda, debatiendo ideas y compartiendo un tiempo con personas sensacionales. En ese ambiente fue posible escribir el presente libro, por lo que les agradezco mucho a todos ellos su esfuerzo.

Así mismo, durante mi paso por el grupo de filosofía MENTIS de la misma universidad, recuerdo con mucho agrado a profesores y estudiantes de filosofía quienes me iniciaron en el tema de la consciencia, Juan Manuel Cuartas Restrepo, Ómar Díaz Saldaña, Ernesto Enrique Combariza Cruz, Juan Carlos Vélez Rengifo y Germán Guerrero Pino.

También agradezco al profesor Jesús Alexander Aranda Bueno por revisarme el teorema de Gödel. Al profesor Carlos Alberto Mayora Pernía, por revisarme el inglés del primer artículo relacionado con este trabajo. Y al profesor Fabio Germán Guerrero Moreno siempre muy interesado en estos temas y que me hizo una pregunta que me ha mantenido activo buscando su respuesta por varias décadas: ¿cuáles son los límites computacionales fundamentales? A los evaluadores quiero agradecerles por sus generosos comentarios y útiles sugerencias.

Para terminar, doy las gracias a mis amigos José Arturo, Diana Lorena y Víctor Manuel por su apoyo continuado en este y otros proyectos, y por tantas horas dedicadas a conversar sobre ideas interesantes.

Desde luego que si quedan errores deben achacármelos a mí, como siempre se dice en estos casos, pero no por repetirlo deja de ser verdad. Mi principal afán fue presentar una disciplina coherente en las asignaturas que ofrezco y, especialmente, las ganas de aprender más. Espero despertar las mismas ganas a los lectores, aunque seguramente todos nos quedaremos con más preguntas que respuestas, pues es un tema abierto a más investigaciones.

El *software* y las figuras son míos excepto donde se indique lo contrario. Una parte procede de los cursos electivos que dicto habitualmente en la Universidad del Valle y el resto fueron diseñados *ex profeso* para estos libros. Los documentos de texto están escritos con *Libre Office 5.1.6.2* (usando *itálicas* para ecuaciones en el texto, tecnicismos y extranjerismos), corriendo sobre *Ubuntu 16.04LTS* y haciendo *backups* varias veces al día en diferentes medios, usando *Dropbox*, *rdiff-backup* y *git*. Como pueden imaginarse, en mi escuela estamos orgullosos de usar y apoyar el *software* libre.

INTRODUCCIÓN

La vida artificial es el estudio de las propiedades abstractas de los seres vivos, independientemente del sistema físico donde estén implementados. El sustrato de la vida natural es la química del carbono, aunque podría haber otros sustratos químicos, mecánicos, electrónicos o informáticos donde también sea posible crear sistemas que muestren las mismas propiedades. Un ejemplo muy bonito, aunque todavía simple, son los animales de plástico de Theo Jansen que se pasean por las playas. En general, la vida artificial intenta entender de dónde surge la complejidad de estos sistemas, creando herramientas matemáticas y computacionales para poder analizarla, manipularla y sintetizarla.

En el libro anterior hemos visto las herramientas computacionales que nos permiten crear vida artificial. Ahora trataremos de dar una aproximación más filosófica a este tema.

¿PARA QUÉ SIRVE LA VIDA ARTIFICIAL?

Acabamos de enunciar la justificación teórica de la vida artificial, pero también existen muchas aplicaciones prácticas inmediatas, entre las que resaltan la animación realista por computador que se emplea ya habitualmente para simular estampidas de animales, bandadas de aves, cardúmenes de peces, fuego y un largo etcétera.

Sirve para entender la interacción entre seres vivos, sean plantas, animales o personas.

Sirve para simular otros mundos, en particular mundos de la física (autómatas celulares, velocidad de la luz, contracción del tiempo...) e incluso nuestro propio universo.

Sirve como un paso intermedio para lograr inteligencia artificial.

Y, por primera vez en la historia, sirve para hacer filosofía en el laboratorio. Aunque decirlo pueda escandalizar a muchos filósofos. La filosofía y, más concretamente, la metafísica en la Grecia clásica fue lo que propició el desarrollo posterior de la Física. Mirad que cosa tan increíble ocurrió hace 2400 años: cuando todavía no había instrumentos para medir casi nada, Demócrito pudo deducir que la materia estaba compuesta por átomos, aunque su definición de átomo fuera distinta a la nuestra y algunas de las razones que esgrimía estaban equivocadas, pero aun así fue un impulsor de la Física. Sin embargo, la Física nació definitivamente con Galileo, y entonces la filosofía se quedó completamente atrás, concretamente la metafísica, que se convirtió en un enredo sin sentido donde las palabras se sostienen por sí solas sin ningún apoyo de la realidad³ y es asaltada finalmente por la gente supersticiosa, las pseudociencias y los embaucadores.

La idea es la siguiente: si tienes una hipótesis filosófica nueva de algo para lo que es difícil montar experimentos en el mundo real, puedes crear una simulación en el computador y ver como se desenvuelve. Esto es filosofía práctica. Uno de los mejores filósofos que usa este método es Daniel Dennett, del que hablaremos extensamente más adelante.

MUCHOS MUNDOS

La mayoría de las obras artísticas que más nos llaman la atención contienen mundos virtuales que se “enredan” con el mundo real, hasta tal punto que se hace difícil distinguir uno de otro. A veces también aparecen bucles de autorreferencia, es decir, en un mundo X se crea un mundo Z, y en el mundo Z se habla o se modifica X. Como veremos más adelante, las autorreferencias son creativas, incluso las que generan contradicciones.

Ejemplos de ello son *Don Quijote de la Mancha* de Cervantes, formado por dos libros. Al principio del segundo libro, el Quijote habla sobre sus aventuras publicadas en el primer libro y relata las inexactitudes y errores cometidos por el escritor.

También *La historia interminable* de Michael Ende, formada por dos cuentos que se entrelazan (y que el editor marcó con letras en dos colores distintos, para facilitar la comprensión de los niños a los que va dirigido).

3 Ver, por ejemplo, Zubiri (1996) y Marchand (2015).

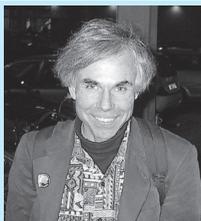
Los libros de Jostein Gaarder, como *El mundo de Sofía*, donde se desarrolla la historia de una niña real en paralelo a una niña de ficción, y donde finalmente el personaje de ficción escapa de su mundo virtual para irse a vivir al real. O *Maya*, donde hay historias entremezcladas y contradictorias (un personaje muere, y más adelante reaparece vivo). La contradicción se disuelve cuando, al final, nos explican que una de las historias es un libro escrito por otro de los personajes.

En el cine, *La rosa púrpura del Cairo* de Woody Allen, también con personajes de una película que escapan para vivir en la vida real, aunque, inevitablemente, siguen estando detrás de la pantalla.

En la pintura, muchas de las obras de Escher muestran un espacio plano, un dibujo 2D dentro del dibujo, entremezclado con un espacio 3D (dibujado también, por supuesto, pero en perspectiva), es decir, dos mundos distintos, uno con mayor apariencia de realidad que el otro (aunque obviamente ambos son virtuales), a veces en cooperación, a veces en contradicción.

Douglas Hofstadter, en su libro *Gödel, Escher, Bach, un eterno y gracioso bucle*, se recrea en mostrarnos estos aspectos en las obras musicales de Bach; y en las pinturas de Magritte donde aparece un cuadro pintado dentro del cuadro real, o una pipa con un cartel que dice “esto no es una pipa”; o en los dibujos de Escher como una mano dibujando otra mano, que a su vez dibuja a la primera; o en la autorreferencia de los lenguajes, que da lugar al teorema de Gödel, que veremos en el capítulo “Computación Completa”.

Julio Cortázar, en muchos de sus cuentos. Basta señalar “La noche boca arriba”, donde un motorista sufre un accidente y va a entrar al quirófano de un hospital. A veces cae en delirios donde sueña que es un guerrero de un pueblo indígena, que los incas acaban de capturar y que van a sacrificar. Cuando despierta va avanzando la historia del enfermo, cuando duerme va avanzando la historia del indígena. O será al revés, nos dice Cortázar a la mitad del cuento —será que es un indígena que cuando duerme sueña que va cabalgando en un caballo de hierro—, dejándonos en la duda que nunca resuelve, pues al final ambos personajes mueren simultáneamente.



Fuente: CC BY 2.5, Maurizio Codogno (2002). Disponible en: <https://goo.gl/UHf9m9>

Personaje 1

Douglas Hofstadter (1945-)

Douglas Hofstadter es un científico de USA que trabaja en ciencias cognitivas, informática y filosofía, entre otras cosas. Entre sus publicaciones destacan *The Mind's I: Fantasies and Reflections on Self and Soul* (1981) en colaboración con Daniel Dennett, *Metamagical Themas* (1985) y *Gödel, Escher, Bach: un eterno y grácil bucle* (1989). En el primer libro recrea temas de inteligencia artificial y vida artificial usando cuentos de Stanislaw Lem y otros escritores, como hilo conductor. En el segundo libro habla de múltiples temas, entre los cuales están los fractales y el caos. Pero es el tercer libro el que lo catapulta a la fama: recogiendo las semillas plantadas en los libros anteriores muestra que la autorreferencia (un bucle de realimentación) es un proceso creativo capaz de llevarnos a la inteligencia y a la consciencia.

Las películas de cine *Abre los ojos* y *Los otros* de Alejandro Amenábar presentan un mundo donde poco a poco aparecen situaciones extrañísimas, paradójicas o contradictorias. Hacia el final se nos hace caer en cuenta que el personaje está viviendo en otra realidad donde todo es posible.

Otro escritor excepcional abordando el tema de “qué es la realidad” es Philip K. Dick. De varios de sus libros se han hecho películas de cine. Por ejemplo, *Ubik* presenta un futuro donde los muertos se pueden mantener en hibernación y conseguir de ellos alguna actividad cerebral (ensoñaciones) que les permiten vivir otra vida e incluso comunicarse con los habitantes del mundo real. En “Usted lo recordará perfectamente” llevado a cine como *Total recall* nos presenta un mundo donde viajar es demasiado caro. En su lugar, las agencias de viajes implantan en el cerebro del turista los recuerdos del viaje que deseen, para que pueda disfrutar de ello el resto del año. El personaje principal se da cuenta que su vida es solo una falsificación, los recuerdos de toda su vida han sido borrados y sustituidos por otros. Luchando por obtener su personalidad real averigua que es un agente secreto. Al final del libro comprende que esa tampoco es su verdadera vida, y comienza a hacer varias regresiones hacia vidas supuestamente reales pero que resultan no serlo, y cada una es más disparatada que la anterior. La mayoría de los cuentos de Dick donde presenta alternativas a la realidad se han llevado a cine: *Blade Runner*, *Minority Report*, *Paycheck*, *A Scanner Darkly*, etc.

También el *Congreso de Futurología*, de Stanislaw Lem, donde se muestra un futuro en el que la humanidad vive una vida semirreal semiimaginaria gracias al uso extendido de una multitud de drogas que alteran la percepción (es más barato comprar la droga que sirve para percibir que estoy viendo la televisión, a comprar el propio televisor). Estas drogas son usadas tanto por los propios individuos, para mejorar su bienestar, e igualmente son difundidas en el aire y agua por su gobierno, para manipular a la población. El final es también una regresión hacia atrás, en la búsqueda de la verdadera realidad del mundo, y dejando al lector la duda de si realmente se ha alcanzado.

Las películas *Piso 13*, *Matrix* y *Avalon* son las que plantean más directamente el asunto de mundos artificiales, mundos construidos dentro de un computador y donde se puede pasear e interactuar de una manera virtual aunque con consecuencias reales. La película *Inception* nos muestra otra posibilidad: que los mundos virtuales sean ensoñaciones de nuestro propio cerebro, donde puedan acceder otros personajes, pueda haber varios niveles, y que al final no sepamos cuál es el nivel que corresponde a la realidad. Y la última que conozco, pues seguro que hay más, es la serie de televisión *Westworld* de 2016, donde se recrea un ambiente del *far west* de hace más de 100 años, en un pueblo real con personajes aparentemente reales, pero que son robots, y donde los turistas pagan por vivir experiencias emocionantes como luchar contra pistoleros, aunque no pueden sufrir ningún daño porque los personajes están programados para ello.

MUNDOS REALES Y MUNDOS VIRTUALES

Después de ver todos estos provocativos ejemplos de la literatura y el cine, se puede constatar que la opinión generalizada (e ingenua) es que solo hay un mundo real, y que puede haber muchos mundos virtuales (historias escritas, pinturas, música, cine...). Incluso los sueños que uno tiene cuando duerme son también mundos virtuales.

En seguida pasaré a argumentar por qué es ingenua. De momento uno estaría interesado en clasificar los mundos de mayor a menor grado de “realidad”, es decir, el mundo real sería el primero, y después vendrían mundos virtuales con un alto grado de verosimilitud con el real (mucho realismo), y después, sucesivamente, irían los mundos más groseros, donde los detalles no estén cuidados y sea obvio para todos que se trate de mundos artificiales.

Por ejemplo, esa clasificación podría quedar así:

- Mundo real
- Sueños
- Películas de cine

- Libros
- Mundos artificiales generados por computador

Este es solo un ejemplo. No pretendo que esta sea una clasificación definitiva, ya que los mundos generados por computador y presentados con ayuda de aparatos especiales (gafas, guantes, etc.) están llegando ya a un grado de verosimilitud muy alto.

Pero también suele ser comúnmente aceptado que hay muchos sueños asombrosamente reales, en los que uno disfruta o sufre y no es consciente de que se trata simplemente de un sueño, excepto en el momento final en que se despierta. Se llaman sueños vívidos⁴ y hay incluso técnicas para lograrlos, incluyendo aplicaciones para teléfonos móviles celulares, así como grupos de discusión sobre ello en Internet.

También ocurre algo similar con las buenas películas de cine, en las que nos sumergimos tanto en la acción virtual que participamos de los sentimientos de los personajes.

Al leer un buen libro ocurre algo ligeramente distinto: el escenario y los personajes no se nos aparecen a los ojos, sino directamente a la mente, es decir, los recreamos nosotros mismos, siguiendo nuestros gustos y fantasías, y eso añade un grado de personalización a este tipo de mundos virtuales.

¿Puede haber un mundo con más visos de realidad que el propio mundo real? Pues, parcialmente sí. Hay películas que se proyectan en los cines 3D que son hiperreales, en el sentido de que ofrecen a la vista muchos más detalles de los que suele tener el mundo real. Pero digo “parcialmente” porque la vista no es el único sentido que participa de la percepción de realidad; el tacto, el gusto, etc., todavía no nos engañan en estos casos. Sin embargo, es solo cuestión de tiempo, porque la tecnología produce resultados espectaculares cada vez con mayor rapidez. Con ayuda del computador y dispositivos de realidad virtual (gafas, guantes, etc.) será posible incluso detectar las acciones musculares que toma el espectador y cambiar la película de acuerdo a ellas, modificando el ángulo de visión o incluso el desarrollo de la acción. Eso hoy día ya se está haciendo, aunque todavía falta mucho por lograr.

Entonces, es de esperar que en algún momento podamos ver una película de cine a la vez que la tocamos, olemos, etc., gracias a que en el medio impreso de la película están grabadas las informaciones correspondientes a todos los sentidos, y no solo al visual. ¿Podríamos decir, entonces, que ese mundo es más real que el mundo real?

4 Lucid dreams.

De nuevo sí, pero parcialmente. Porque yo me puedo distraer de la película y abandonarla. Yo me puedo quitar las gafas y los guantes virtuales. De hecho, durante toda la experiencia, esas gafas y guantes los siento como algo añadido (siento el peso de las gafas y el sofoco del guante) que no debería estar allí. Y que, efectivamente, en el mundo real no están allí.

Para evitar que el espectador perciba estas imperfecciones, lo ideal sería presentar la información sensorial pero no a los sentidos sino directamente al cerebro. Este tema no es nuevo en filosofía. Por ejemplo, quisiera detenerme en el libro *La conciencia explicada*, donde Dennett lo aborda (brevemente) y lo resuelve (aunque insatisfactoriamente).

Dennett habla del problema del “cerebro en un tarro”: un pobre cerebro separado de su correspondiente cuerpo, y que ha sido sumergido en un líquido que le proporciona los nutrientes adecuados para vivir. Así mismo, todos los nervios que habitualmente salían por la médula espinal han sido conectados a un computador que puede registrar los impulsos eléctricos provenientes del cerebro y, a su vez, generar e inyectar hacia el cerebro nuevos impulsos. El computador estaría así en disposición de simular el mundo real pero de una manera que hace al cerebro impotente para detectar el engaño. ¿O no?

Dennett argumenta que esto no es así: el cerebro se daría cuenta del engaño por varias razones, la principal de las cuales es que la información sensorial que el cerebro recibe del mundo real (que se puede medir como un “ancho de banda”, en bits por segundo) es muy rica y compleja, comparada con la simulación que puede producir un computador.

A este argumento se puede replicar de tres formas simultáneamente:

- a. Los computadores (especialmente las redes de computadores) de hoy ya son bastante potentes como para generar mundos muy complejos. Y si esa complejidad no fuera todavía suficiente, es solo una cuestión de tiempo alcanzarla.
- b. Se puede usar otro argumento de Dennett, en el mismo libro. Resulta que el ancho de banda de los sentidos es mucho menor de lo que aparenta ser: la mayor parte de la información que creemos ver (con la vista) realmente es solo una reconstrucción que hace el propio cerebro. Dennett pone un ejemplo sorprendente de un computador que presenta un texto en la pantalla y que hace bailar todas las letras excepto unas pocas en donde está concentrada la vista del humano. El humano (el propio Dennett) percibe la pantalla como estática, a pesar de que casi toda está bailando, porque los ojos solo capturan información del centro del punto de visión, y el cerebro reconstruye el resto a partir de imágenes anteriores.

- c. Si una persona nace así, con su cerebro dentro de un tarro conectado a un computador, entonces no tiene forma de realizar comparaciones respecto al “mundo real”. Por tanto, aceptará el mundo que percibe como el real, así sea de muy baja calidad, así contenga imperfecciones⁵. No puede compararlo con nada más. Es algo similar a lo que ocurre con los ciegos de nacimiento: no hay forma de que puedan entender o imaginar qué es el color. Este es, por cierto, el argumento de la película *Matrix*.

La única prueba ampliamente aceptada de que estoy en el mundo real es pellizcarme. Si siento dolor, es el mundo real. Espero que el lector entienda la fragilidad de esta prueba. En un sueño muy real, también podría sentir dolor. En una simulación computacional de la realidad, un cerebro en un tarro emitiría impulsos eléctricos adecuados para mover los dedos y comandar la acción de pellizcar el otro brazo. Estos impulsos los recibiría el computador y generaría como respuesta los impulsos eléctricos adecuados que emitiría un brazo real como señal de dolor. El cerebro recibiría una señal de dolor en el brazo, de donde deduciría, erróneamente, que el mundo en el que vive es el real.

Especialmente en la situación mencionada en c), no hay prueba que permita distinguir el mundo real de los virtuales, salvo la fe ciega de que vivimos en él. Y eso no es muy científico. Durante mucho tiempo esta cuestión fue abordada de forma tímida por la filosofía, dado que no había simulaciones de computador. Pero actualmente, con la proliferación de mundos virtuales cada vez más detallados, es una pregunta pertinente, cuya respuesta es contundente: si no hay forma de diferenciar lo real de lo virtual, es que no son diferentes.

RESUMEN

La vida artificial es una disciplina de las ciencias de la computación que intenta entender la complejidad del mundo, especialmente la de los seres vivos, por ser donde más complejidad hay.

5 Quizás contenga imperfecciones muy grandes como dejar un electrón confinado en un pozo de potencial y que después de un rato aparezca al otro lado. Allí tendrá dos opciones: decir que ocurrió algo mágico, o tratar de modelar ese tipo de errores llamándolos, por poner un nombre gracioso, “efecto túnel”.

En esencia no hay diferencia entre vida natural y vida artificial, ni entre mundos reales y mundos artificiales. Lo único que los separa es el grado de complejidad.

Para saber más

¿Quién no ha visto la película *Matrix*? Es un buen abrebotas a este tema. Pero mejor aún es *Piso 13*, al menos en lo referente a este libro. Todas las demás películas tienen algo sorprendente para aportar, así como los cuentos de ciencia ficción. La ciencia ficción es la nueva inspiración de la ciencia, y se realimentan mutuamente.

Una vez que queramos profundizar en estos temas, recomiendo leer los libros de Hofstadter y Dennett, con paciencia, pues aunque son muy amenos también son muy extensos.

No pierdan el tiempo ni con Zubiri, ni con Marchand. Están aquí como contraejemplos.

REFERENCIAS

Libros, artículos y enlaces web

- Bostrom, N. (2003). Are You Living in a Computer Simulation? *Philosophical Quarterly*, 53(211), pp. 243-255. DOI: https://doi.org/10.1111/1467_9213.00309 JSTOR 3542867
- Cervantes, M. (1998). *Don Quijote de la Mancha*. Madrid: Edimat Libros.
- Cortázar, J. (1994). La noche boca arriba. En *Cuentos completos 1*. Madrid: Alfaguara.
- Dennet, D. (1995). *La conciencia explicada: una teoría interdisciplinaria*. Barcelona: Ediciones Paidós.
- Dick, P. K. (1969). *Ubik*. Barcelona: Ediciones Orbis.
- _____. (1973). Usted lo recordará perfectamente. En *Ciencia Ficción 4*. Barcelona: Editorial Bruguera.
- Ende, M. (1983). *La historia interminable*. Madrid: Alfaguara.
- Ernst, B. (1978). *El espejo mágico de M. C. Escher*. Alemania: Taschen.
- Gaarder, J. (1997). *El mundo de Sofía*. Bogotá: Editorial Norma.
- _____. (2000). *Maya*. Madrid: Siruela.
- Hofstadter, D. (1979). *Gödel, Escher, Bach: un eterno y grácil bucle*. Barcelona: Tusquets Editores.
- _____. (1985). *Metamagical Themas*. New York: Basic Books.

_____. y Dennett, D. (1981). *The Mind's I: Fantasies and Reflections on Self and Soul*. New York: Basic Books.

Lem, S. (1981). *Congreso de Futurología*. Barcelona: Editorial Bruguera.

Marchand, A. (2015). *The Universe is Virtual: discover the science of the future, where the emerging field of digital physics meets consciousness, reincarnation, oneness, and quantum forgiveness*. United States: Inspired Arts Press.

Zubiri, X. (1996). *Espacio, tiempo, materia*. Madrid: Alianza Editorial.

Películas y videos

Allen, W. (1985). *La rosa púrpura de El Cairo*. Estados Unidos: Orion Pictures.

Amenábar, A. (1997). *Abre los ojos*. España, Francia e Italia: Sogecine.

_____. (2001). *Los otros*. España, Francia, Estados Unidos: Sogecine, Cruise-Wagner Productions y Las Producciones del Escorpión.

Hermanas Wachowski (1999). *Matrix*. Estados Unidos: Warner Bros.

Jansen, T. (2007). *My creations, a new form of life*. TED. Recuperado el 17 de agosto de 2017. Disponible en: <https://goo.gl/HeqNio>

Linklater, R. (2006). *A Scanner Darkly*. Estados Unidos: Thousand Words, Section Eight Productions, Detour Filmproduction y 3 Arts Entertainment.

Nolan, Ch. (2010). *Inception*. Estados Unidos: Legendary Pictures y Syncopy Films.

Nolan, J. y Joy, L. (2016). *Westworld*. USA: Bad Robot Productions, Kilter Films, Warner Bros. Television, Jerry Weintraub Productions.

Oshii, M. (2001). *Avalon*. Japón, Polonia: Nippon Herald Films.

Rusnak, J. (1999). *Piso 13*. Alemania y Estados Unidos: Columbia Pictures.

Scott, R. (1982). *Blade Runner*. Estados Unidos: Blade Runner Partnership.

Spielberg, S. (2002). *Minority Report*. Estados Unidos: Amblin Entertainment y Cruise/Wagner Productions.

Woo, J. (2002). *Paycheck*. Estados Unidos: Davis Entertainment y Lion Rock Entertainment.

GLOSARIO

AC: Autómata celular. Un grafo regular e infinito, donde cada nodo está conectado bidireccionalmente solo con sus vecinos.

FSM: *Finite State Machine*, máquina de estados finitos. Grafo dirigido con una única marca indicando el estado activo. La marca puede moverse a otro estado a través de algún arco saliente de ese estado, si se cumple la condición indicada en el arco. Si hay más de una marca activa, se llama Red de Petri.

Estocástico: una secuencia es estocástica si cada término es imposible de predecir conociendo los anteriores. Las secuencias estocásticas también se pueden llamar al azar o no-deterministas. No es lo mismo que aleatorio, aunque mucha gente los confunde.

Aleatorio: una secuencia es aleatoria si no se puede comprimir. No es lo mismo que estocástico, aunque mucha gente los confunde.

Seudoaleatorio: es similar a un proceso caótico digital, con horizonte de predicción de una unidad de tiempo (o sea, solo se puede predecir la salida actual, pero no las siguientes, a partir de todas las entradas pasadas y de la fórmula) y donde permanece oculta la fórmula de conversión de entradas en salidas. El hecho de que sea digital implica que no hay ruido en las entradas, de modo que estrictamente hablando no es caótico. Pero la idea de un cortísimo horizonte de predictibilidad permanece.

Caótico: la definición rigurosa puede verse en el correspondiente capítulo, pero aproximadamente se puede decir que un proceso es caótico si es muy sensible a sus entradas, es decir, con un minúsculo cambio de la entrada, la salida cambia mucho. Eso hace que sean difíciles de predecir y suele haber un horizonte de predicción a partir del cual los errores acumulados hacen imposible anticipar el futuro del sistema.

Determinista: una secuencia de datos (o un proceso) es determinista si las sucesivas salidas (o estados) están completamente determinadas por las salidas anteriores (o estados anteriores). Los procesos deterministas convierten sus entradas en salidas por medio de una fórmula o un algoritmo que no contiene ningún elemento de azar. De modo que si se conocen las condiciones iniciales, se pueden predecir las salidas sucesivas. Y si las entradas se repiten, también lo hacen las salidas.

Fractal: un objeto geométrico cuya dimensión de Hausdorff-Besicovitch no coincide con su dimensión topológica. Informalmente se dice cuando un objeto tiene infinita rugosidad y autosemejanza en todas las escalas.



Universidad
del Valle

Programa ditorial

Ciudad Universitaria, Meléndez

Cali, Colombia

Tel.: (572) 321 2227

321 2100 ext. 7687

<http://programaeditorial.univalle.edu.co/>

E-mail: programa.editorial@correounivalle.edu.co