

Portfolio: Casos de uso y de éxito

Asociación ComplejiMad

Los investigadores que formamos la Asociación ComplejiMad hemos venido trabajando en aplicaciones concretas de la ciencia de los sistemas complejos en distintos ámbitos. Resumimos aquí algunas de estas colaboraciones, con ánimo de ilustrar la aplicabilidad de estos temas de investigación. El listado no es ni mucho menos exhaustivo, y hay muchos otros aspectos de importancia para el ciudadano y para la sociedad que se pueden tratar. Desde la Asociación estamos abiertos a plantearnos cualquier tipo de estudio donde las ideas de la complejidad puedan ser de utilidad.

Estudios de ecosistemas. Análisis de datos.

La ecología es uno de los campos donde antes se han empezado a aplicar las ideas de la complejidad, partiendo del problema de la estabilidad y sostenibilidad de los ecosistemas y la relación de estas características con la biodiversidad. Otra línea de investigación que está siendo muy explorada en los últimos tiempos es la de utilizar lo aprendido sobre dinámica de sistemas complejos para identificar señales de alerta temprana que ayuden a prevenir, por ejemplo, fenómenos tan graves como la desertificación.

En este contexto, nuestro trabajo ha consistido en ver cómo utilizar datos del Inventario Forestal Nacional (<http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/inventario-cartografia/inventario-forestal-nacional>) para, en colaboración con ecólogos, clasificar a las especies de árboles y arbustos de España partiendo simplemente de datos de coexistencia, es decir, de los puntos geográficos en los que se han encontrado dos especies dadas. Aplicando ideas originalmente propuestas para entender los sistemas de producción, hemos desarrollado una técnica matemática que permite identificar la dependencia de la biodiversidad de factores ambientales (humedad, temperatura, etc.). Como consecuencia de ese análisis, la técnica permite identificar lugares con potencial de crecimiento en biodiversidad y otros que muestran mayor biodiversidad de la que cabría esperar por sus características. Estos resultados permitirán una mucho mejor gestión de los servicios de los diferentes ecosistemas, concepto que preocupa mucho hoy en día y que cristalizó en 2004 con el estudio organizado por la ONU sobre Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. En este sentido, nuestra técnica puede ser muy útil combinada con datos precisos sobre los sistemas de interés.

Otros trabajos del grupo se han centrado en el estudio de la importancia de las interacciones mutualistas, aquellas donde las dos especies que interactúan reciben beneficios. Más del 80 % de la reproducción de las plantas y arbustos en los trópicos no sería posible sin el uso de los polinizadores o animales que dispersan las semillas. Este tipo de interacción se considera como fundamental en el incremento y conservación de la biodiversidad. En nuestro grupo se han estudiado las interacciones mutualistas usando las redes complejas como herramienta. Los resultados de estas investigaciones nos ayudan a encontrar las especies claves en posibles extinciones, permitiendo así una política de conservación más eficiente.

Redes financieras y monitorización del riesgo.

Uno de los sistemas complejos más relevantes para la sociedad es el formado por las entidades financieras, causa, sin ir más lejos de la última y grave crisis que nos viene azotando en los últimos años. Ya hace unos años vienen apareciendo, en revistas como *Nature* o *Science*, llamamientos

conjuntos de científicos y dirigentes de bancos centrales para esforzarse de manera decidida en la aplicación de las ideas de la complejidad al estudio de las redes financieras.

Nosotros hemos contribuido a estos trabajos con un modelo de redes centrado en el estudio del efecto de los préstamos interbancarios y, en general, de las conexiones entre entidades en su exposición al riesgo de quiebra. De esta manera, hemos mostrado que la diversificación de las inversiones puede pasar de ser una buena estrategia a ser muy dañina a partir de un número moderado de quiebras en el sistema. Por otro lado, la diversificación también es perjudicial cuando, por el elevado número de conexiones entre actores, aparece un conjunto global muy conectado que es muy sensible a quiebras, que pueden llegar a afectar a gran número de entidades. De esta manera, hemos mostrado a las entidades reguladoras que más allá del famoso mantra "*too big to fail*", que asigna importancia para el riesgo sistémico a bancos con mucha capitalización, hay que analizar también la estructura de las conexiones entre entidades, algo que cada vez se usa más y que está dando lugar al nuevo paradigma "*too central to fail*".

Evacuaciones. Simulaciones con agentes.

En el ámbito de la evacuación existen dos problemas a la hora de modelar y predecir, uno relacionado con la física del problema y otro con la propia psicología humana durante la evacuación. La falta de visibilidad, la intoxicación o la elevada temperatura hace que el comportamiento de las personas ante un incendio sea impredecible causando situaciones de pánico difícilmente controlables.

En trabajos anteriores se han realizado ensayos de evacuación, bajo condiciones de visibilidad nula, centrados principalmente en aspectos de comportamiento tanto grupal como individual, tratando además de recoger o cuantificar aspectos psicológicos como la respuesta colaborativa, el posible liderazgo o incluso el sentimiento de desorientación, lo que implica el uso de herramientas numéricas de simulación de movimiento de personas, especialmente bajo el estrés o angustia provocadas por el humo.

Diseño antiincendios. Modelado y simulación.

El estudio del movimiento de humos en grandes espacios (atrios, túneles o centros comerciales), donde el número de personas que pueden verse afectadas puede ser muy elevado, requiere de ensayos a escala real así como de simulaciones numéricas. Los resultados experimentales sirven tanto de referencia para los modelos numéricos, como para profundizar en el conocimiento sobre la respuesta del humo.

Se han realizado numerosos ensayos experimentales de incendio en un atrio a escala real, así como una serie de modelos numéricos de mecánica de fluidos con un alto coste computacional. Asimismo, para ello se ha elaborado una metodología, basada en el Diseño Factorial Fraccional con el fin de desarrollar herramientas numéricas que puedan predecir con gran precisión escenarios de incendio de forma casi inmediata. Además, se han realizado estudios sobre la influencia de la entrada de aire en los penachos de humo. De esta forma, se han analizado e investigado las posibles perturbaciones en la llama así como los posibles *fire whirls* que en caso de ventilación cruzada pueden desarrollarse. Estos estudios multidisciplinarios, experimentales y teóricos son cada vez más relevantes dada la gran proliferación de espacios arquitectónicos de grandes dimensiones que alojan a un gran volumen de personas.

Terapias clínicas. Modelado y simulación.

Uno de los desafíos de la moderna medicina es la de integrar estudios clínicos con modelos predictivos formulados matemáticamente. Estos modelos permiten explorar hipótesis alternativas, poner a prueba conjeturas e identificar los mecanismos que están detrás de una enfermedad o tratamiento. Esto incluye tanto la evolución de un tratamiento a nivel de paciente, como a nivel de epidemia.

Nuestros modelos han permitido en el pasado identificar las mejores terapias para pacientes que están infectados simultáneamente por virus tan dañinos como el del SIDA o el de la hepatitis-C.

Por otro lado, la emergencia de enfermedades tropicales (algunas de ellas denominadas hasta hace poco "ignoradas" por su escaso impacto en los países industrializados) y su llegada a Europa y Estados Unidos (como el caso del Dengue o, más recientemente, como se espera del virus del Zika) requieren una estrategia combinada que permita, no sólo identificar la dinámica de las epidemias de estas enfermedades si no, lo que tiene un mayor impacto en la sociedad, desarrollar estrategias de vacunación preventiva o reactiva lo más efectivas que sea posible.

El modelo basado en los sistemas complejos permite, además, determinar la influencia de factores medio-ambientales (como la temperatura o la humedad) en la propagación de estas epidemias, evaluando así el propio impacto del cambio climático en la salud pública.

Análisis de redes de influencia.

Las interacciones entre personas dentro de una red social suelen tener estructuras y dinámicas complejas. Si bien la organización de las redes sociales ha sido un campo de estudio clásico en sociología, el acceso a grandes cantidades de datos ha aumentado la complejidad en el análisis de este tipo de redes. En el entorno profesional, resulta crucial identificar a aquellas personas cuya repercusión es mayor sobre el resto de miembros de la red, así como acotar y cuantificar su área de influencia. Para ello, es necesario utilizar herramientas provenientes de los Sistemas Complejos, que sean capaces de analizar grandes cantidades de datos, extraer la información más útil y poder representarla de una manera inteligible.

De esta manera es posible obtener y analizar redes de influencia de profesionales en un determinado sector. Si nos fijamos, por ejemplo, en el campo de la medicina, es posible construir redes de influencia entre médicos (en base a encuestas de opinión), de colaboración científica (en base a artículos publicados) o de influencia en las redes sociales (en base a la actividad en Twitter). Una vez obtenidas las redes, su análisis permite en primer lugar, identificar los nodos más importantes de la red. Seguidamente, es posible extraer los grupos de influencia que, espontáneamente, se forman en cualquier tipo de red social. De esta manera, es posible, no solo conocer qué médicos en este caso suelen colaborar conjuntamente, si no cuales de ellos son los conectores entre grupos, cumpliendo el papel de difusores de información e ideas entre los distintos grupos.

Este tipo de análisis permite crear modelos teóricos para simular procesos dinámicos, tales como la adopción de un nuevo medicamento o la aparición de nuevos líderes de opinión en la red.

Finalmente es importante destacar que este tipo de estudios se puede trasladar a cualquier entorno profesional donde exista una gran red de interacciones entre los agentes que lo forman.

Diseño de sistemas de recomendación personalizados.

El Big Data ha supuesto una revolución en la forma en que las empresas interactúan con los datos a los que tienen acceso. Hoy en día, nadie duda del valor de los datos y de que la clave para una gestión eficiente de recursos pasar por el máximo aprovechamiento de la información que una empresa dispone, no solo de sus clientes, si no del entorno que le rodea. Sin embargo, más allá de la capacidad de gestión de grandes bases de datos, es fundamental comprender la necesidad de un uso inteligente de los mismos.

Dentro de este marco conceptual, los sistemas de recomendación han sido unos de los grandes beneficiados del Big Data. Hoy en día, gracias al uso de tiendas y portales online es posible diseñar sistemas de recomendación personalizados, basados en el historial de compras, gustos o visitas de los usuarios de una determinada plataforma. Sin embargo, el diseño de este tipo de sistemas no escapa de las consecuencias de un mundo altamente conectado. Los usuarios interactúan con otros usuarios, pueden ver compras y opiniones, y se dejan influenciar por ellos. Es por ello que los sistemas de recomendación deben ir más allá de un simple análisis estadístico de compras e incorporar una visión más global, probablemente la que le aporta el estudio de los Sistema Complejos.

De esta manera, es posible diseñar sistemas de recomendación personalizados, basados en el comportamiento de los usuarios y sus relaciones (similitud, pertenencia a una misma comunidad, etc,...) con otros usuarios. Para ello, la Ciencia de las Redes, permite proyectar la actividad de un gran número de personas en una gran red social, en la que es posible analizar y simular procesos (como futuras compras), identificar cuales son los patrones de compra de los usuarios y mejorar, de esta manera, la probabilidad de acertar en las recomendaciones.

Extracción de información y relaciones en el dominio biomédico.

Las técnicas de Procesamiento del Lenguaje Natural permiten localizar y clasificar entidades (nombres de personas, nombres de compañías, medicamentos, discapacidades, etc.) de forma automática en distintos tipos de textos: documentos científicos, patentes, páginas web, tuits, informes médicos, etc. Las técnicas tienen que adaptarse a cada tipo de entidad y de fuente de información.

En este proyecto, desarrollamos nuevas técnicas para la extracción de información en documentos médicos: informes médicos, artículos científicos y redes sociales. En particular, el objetivo es la extracción automática de relaciones entre conceptos médicos (por ejemplo, medicamentos y efectos adversos, enfermedades raras y discapacidades asociadas, etc.) y la inducción de nuevo conocimientos que pueda servir de indicios y guía a los profesionales. La selección de estos temas concretos a investigar ha venido determinada por los intereses de socios médicos del proyecto, que son algunos hospitales y Orphanet, la Organización mundial de enfermedades raras.

Por ejemplo, a los hospitales les interesaba contar con tecnología para detectar las relaciones entre medicamentos y efectos adversos automáticamente a partir de los informes médicos. Este proceso, que en la actualidad se realiza de forma manual, requiere un estudio de todos los informes médicos, muchos de los cuales no aportan información útil para el problema.

Por su parte Orphanet, que está en la actualidad compilando manualmente un catálogo de las

discapacidades que suelen estar asociadas a cada enfermedad rara, está interesada en tecnología que facilite el proceso.

La identificación a menciones de discapacidades asociadas a una enfermedad supone tener que dedicar mucho personal a leer detalladamente cientos de artículos que se publican continuamente sobre enfermedades raras. Por eso les resultaría de gran utilidad la aplicación en la que trabajamos que identifica automáticamente las menciones a discapacidades que puedan aparecer en los textos.

Tráfico de vehículos: prevención de atascos, diseño urbano y técnicas de conducción.

Un problema importante en el que la ciencia de la complejidad está aportando mucho es del tráfico de vehículos, tanto en autopistas como en ciudades. En el caso de las autopistas, las simulaciones basadas en agentes han mostrado que muchos de los atascos que nos encontramos son, en realidad, atascos fantasma: no están causados por ningún problema concreto de la carretera sino que aparecen en condiciones de densidades altas de vehículos por pequeñas perturbaciones (un frenazo de un conductor, distracciones que bajan la velocidad, etc.). Estos atascos se propagan en la dirección contraria a la marcha y, debido al tiempo de reacción de los conductores, pueden acabar afectando a vehículos individuales durante tiempos prolongados.

Para evitar estos atascos, hemos colaborado con la empresa ImpactWare SL en el diseño de una nueva técnica de conducción, llamada WaveDriving. La idea básica de la nueva técnica es evitar precisamente el efecto que unos conductores ejercen sobre otros, por lo que añade a la distancia de seguridad una de "colchón", que permite mantener la velocidad y evitar transmitir los frenazos al resto de conductores. La eficacia de esta técnica, así como la facilidad de su asimilación por los conductores, está probada en experimentos con vehículos reales en entorno controlado, y en la actualidad la Dirección General de Tráfico la está evaluando para su difusión entre los conductores.

Por otro lado, las mismas ideas en las que se basan las simulaciones mencionadas son aplicables a entornos urbanos: los modelos pueden adaptarse sobre mapas reales para estudiar las mejores opciones de cara a agilizar el tráfico, evitando costosas intervenciones sin análisis previos que de hecho pueden resultar incluso contraproducentes.

Estudios conductuales y validación de *big data*.

La disponibilidad de datos masivos de todo tipo está permitiendo implementar técnicas de análisis matemático (que incorporan ideas de complejidad) que arrojan predicciones sobre comportamientos individuales en los más diversos ámbitos. Así, se utilizan este tipo de técnicas para intentar descubrir patrones de compra o de movilidad, por ejemplo.

Sin embargo, esas conclusiones son muchas veces de carácter correlacional, es decir, se observa que cuando ocurre el fenómeno A pasa también el B, pero no se puede establecer causalidad entre ellos. Por ello, cada vez más se plantea la posibilidad de realizar estudios de carácter conductual que permitan desentrañar los mecanismos responsables de esas observaciones, lo que grandes consultoras como Deloitte llaman "el problema de la última milla". Nosotros tenemos gran experiencia en la realización de este tipo de experimentos y estamos comenzando a explorar colaboraciones en esta dirección.

Juegos para la salud mental: socialización y diagnóstico.

En otra vertiente de nuestro trabajo sobre economía experimental y psicología social, estamos trabajando con la Federació de Salut Mental de Catalunya para aplicar nuestra experiencia en el diseño y desarrollo de experimentos a la ayuda en el diagnóstico y socialización de enfermos mentales, en un entorno colaborativo con sus familias y sus asistentes (médicos, terapeutas, etc.).

Durante 2016 estamos desarrollando la primera fase de un estudio financiado por la Federació que nos permitirá evaluar la capacidad predictiva de un software basado en teoría de juegos para la ayuda al diagnóstico, basado en una interfaz amistosa para el afectado. En concreto, hemos diseñado una batería de situaciones que permitirán analizar la capacidad de la persona en cuanto a confianza, generosidad, capacidad de colaboración y de trabajo en equipo, y otras características de la personalidad relevantes para el diagnóstico y tratamiento de la enfermedad. Por otro lado, pretendemos usar la información obtenida para facilitar la resocialización de los afectados de la manera más eficaz y menos intrusiva posible. Para ello, desarrollaremos variantes de la plataforma informática que permitan la interacción entre los distintos miembros de la comunidad involucrada en la enfermedad mental y que faciliten la comunicación y la empatía, contribuyendo a la lucha contra el estigma.

Evaluación de las inversiones en carreteras.

Es comúnmente aceptado que las inversiones en carreteras tienen un efecto importante sobre la productividad y el bienestar de los ciudadanos. Sin embargo, todavía no está suficientemente desarrollado el análisis de la repercusión territorial de dichas inversiones. Con demasiada frecuencia los beneficios se adjudican al territorio donde se realizan olvidando que al tratarse de una red cualquier modificación de la misma afecta a todos los nodos conectados a ella, no solamente a los más cercanos. Esta falta de visión del fenómeno en su globalidad afecta al debate político que se circunscribe con excesiva asiduidad a una discusión sobre los cambios en la centralidad de grado, olvidando que es la accesibilidad y la intermediación lo verdaderamente relevante.

Bajo este enfoque, desde ComplejIMad se ha desarrollado una línea de investigación en la que se analizan los cambios en la accesibilidad y la centralidad de las principales ciudades españolas durante los últimos cincuenta años para evaluar en qué medida los diferentes planes de infraestructuras que se han desarrollado han modificado su situación relativa previa. Adicionalmente, utilizando modelos de simulación basada en agentes, se comparan los resultados reales observados con los que se habrían obtenido mediante planes de infraestructuras alternativos en los que en lugar de utilizarse un criterio centralizado se aplicarían criterios distribuidos de carácter endógeno. Con ello se pretende determinar si los proyectos de infraestructuras realizados han estado inspirados por condicionante de carácter eminentemente económico o por, el contrario, político.

Análisis de la centralidad y fragilidad de los sistemas de transporte regulares.

La valoración de las redes de transporte regular como el ferrocarril o el aeronáutico suele dejar de lado un aspecto crucial del fenómeno: el temporal. Con demasiada frecuencia los análisis se refieren únicamente a la existencia de enlaces entre los nodos olvidando que el horario y frecuencia de las conexiones es igual de relevante. Que haya una conexión directa y rápida entre dos puntos puede ser poco útil si la frecuencia es escasa y obliga a hacer el viaje el día anterior o volver un día más tarde. Igualmente, si un individuo desea realizar un trayecto para el que no existe una conexión

directa y debe realizar una escala no es lo mismo que llegue a tiempo de tomarla o que deba esperar un largo periodo para tomar la siguiente.

Actualmente estamos indagando en estas cuestiones para los principales aeropuertos del mundo a partir de una base de datos con los cerca de 100.000 vuelos que se producen en un día laborable. Con los resultados obtenidos se observa que tanto la accesibilidad de los aeropuertos como su centralidad de grado e intermediación fluctúan a lo largo del día. Este resultado es importante pues determina tanto la fragilidad como la resiliencia del sistema. No tiene la misma incidencia en el sistema un incidente en un aeropuerto secundario que en un hub internacional pero tampoco es indiferente que se produzca a una hora u otra. Este trabajo puede servir para determinar no solo los puntos críticos del sistema sino también los momentos del día que requieren especial atención por parte de las autoridades.

Nanomáquinas

En el mundo microscópico y nanoscópico, la agitación térmica es ineludible. A partir de una cierta escala de tamaño y peso, todo está afectado por fluctuaciones y movimientos aleatorios. ¿Cómo es posible entonces que en los seres vivos exista una maquinaria molecular tan precisa como para copiar ADN, producir proteínas de acuerdo con las instrucciones escritas en el genoma, o completar la división celular? Responder a estas preguntas no es sólo importante para la biología y la medicina, sino que puede permitirnos miniaturizar, a escalas mucho más pequeñas que las actuales, dispositivos de todo tipo: motores, captadores de energía, memorias y procesadores de información, etc.

Trabajamos en el marco teórico necesario para estudiar como estos sistemas fluctuantes intercambian energía entre sí y con el exterior. En este marco teórico se profundiza en la relación entre ruido, información y conversión de energía. El trabajo se complementa con una relación estrecha con laboratorios que realizan experimentos con motores microscópicos sintéticos y biológicos. En particular, hemos podido realizar en el laboratorio un motor térmico, similar a los motores de combustión macroscópicos, con una sola partícula fluctuante en lugar de un gas; y estudiamos también los motores en las células del oído.