

Mecánica Estadística, Física no Lineal y Sistemas Complejos

Miércoles 27 de septiembre

Centro Cultural Pasaje Dardo Rocha

Polivalente

11:30 - q-Mecánica estadística de curvas en el espacio de fases

Zamora D J¹, Rocca M C¹, Plastino A¹, Ferri G L²

¹ Instituto de Física La Plata, CONICET

² Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad Nacional de La Pampa

La q-mecánica estadística o estadística no extensiva fue introducida por Tsallis en 1988 [1,2]. Esta es no aditiva y se reduce a la estadística usual de Boltzmann-Gibbs cuando el parámetro de extensibilidad, q , se iguala a la unidad. Su importancia radica en que ajusta mejor que la estadística de Boltzmann-Gibbs a diversos fenómenos tanto dentro de la física como fuera de ella, como ser en química, biología, economía e informática. Dentro de la física podemos mencionar por ejemplo sistemas autogravitantes, difusión anómala y colisiones de alta energía [3].

En este trabajo estudiamos la mecánica estadística de Tsallis clásica de una curva en el espacio de fases. Utilizamos un mecanismo de fuerza entrópica propuesto por Verlinde [4] que lleva a un procedimiento simple pero con interesantes efectos, como confinamiento, hard-core y libertad asintótica.

[1]. C. Tsallis, J. of Stat. Phys., 52 (1988) 479

[2]. C. M. Gell-Mann and C. Tsallis, Nonextensive Entropy Interdisciplinary Applications (Oxford University Press, New York, 2004)

[3]. C. Tsallis, Introduction to Nonextensive Statistical Mechanics Approaching a Complex World (Springer, NY, 2009)

[4]. E. Verlinde: J. High Energy Physics. 04, 29 (2011)

11:50 - El desarrollo de software científico para simulaciones y análisis: Buenas prácticas y herramienta open source para computación eficiente en la investigación

Alcain P¹, Jarne C³, Lugones R⁵, Molina G⁶

¹ Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires

² Depto. Física, FCEyN (UBA) - IFIBA - CONICET

³ Departamento Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes - Argentina

⁴ Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, IFIBA

⁵ Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires and Instituto de Física de Buenos Aires, CONICET, Ciudad Universitaria, Buenos Aires 1428, Argentina

⁶ Departamento de Ciencias de la Computación, Departamento de Ciencias de la Computación, FACET-UNT

La tarea de escribir software para aplicaciones en las diversas ramas de la física, desde el procesamiento de datos hasta la generación de complejas simulaciones numéricas, se ha convertido en la actualidad en una pieza central de la investigación científica. La elección apropiada de librerías ampliamente probadas en la comunidad, la necesidad de desarrollar código de gran envergadura y en ambientes colaborativo, el diseño de interfaces amigables entre el usuario y un programa de gran exigencia computacional, la optimización en general para aprovechamiento al máximo del hardware existente, entre otras, son tareas que se vuelven cotidianas.

De esta forma, se vuelve imprescindible contar con herramientas actuales e instrumentos más formales que permitan el desarrollo y la utilización de software científico en forma más eficiente, entendiendo la eficiencia no sólo como el tiempo que tarda un programa en correr, sino también como el tiempo de desarrollo y de mantenimiento que se requieran, y la reusabilidad del código, que puede ser heredado.

En este trabajo proponemos una serie de buenas prácticas que mejoran el trabajo cotidiano con ejemplos concretos de análisis provenientes de nuestro trabajo interdisciplinario en desde los campos de meteorología del espacio, plasma, biofísica y física nuclear.

12:10 - Reptación y redondeado térmico cerca de la transición de desanclaje de una interfase elástica

Purrello V H¹, Iguain J L¹, Kolton A B², Jagla E A²

¹ Instituto de Investigaciones Físicas de Mar del Plata, CONICET-UNMdP

² Centro Atómico Bariloche, CONICET - CNEA, Instituto Balseiro, UNCuyo

Partiendo del estudio de paredes de dominio magnéticas en películas delgadas ferromagnéticas, analizamos la dinámica lenta y estocástica cerca de la transición de desanclaje (*deppining*) de una interfase elástica en un medio desordenado. Para ello utilizamos un modelo particularmente adecuado para las simulaciones computacionales, constituido por partículas que se activan dando saltos entre pozos sucesivos de anchura infinitesimal. Con este modelo, correspondiente a la clase de universalidad de quenched Edwards Wilkinson, comparamos dos tipos de activaciones: uniforme y Arrhenius. Para el primero, la velocidad sigue precisamente la ley de escala estándar en función de la fuerza y la intensidad del ruido, con el análogo a un exponente de redondeado térmico que satisface una relación de “hyperscaling” modificada. Por otro lado, para el caso de Arrhenius encontramos, tanto numérica como analíticamente, que la relación de escala estándar falla para cualquier valor del exponente de redondeado térmico. Por lo tanto proponemos un escaleo alternativo que incorpora correcciones logarítmicas que ajustan adecuadamente a los resultados numéricos. Además argumentamos que este escaleo anómalo es debido a la fuerte correlación entre los saltos activados que, intercalados con avalanchas como las de desanclaje, ocurren por debajo de la transición de desanclaje. Así justificamos estos patrones espacio-temporales haciendo una analogía del presente modelo en el régimen de reptación (*creep*) con los de dinámica extrema, particularmente el modelo de Bak-Sneppen.

Jueves 28 de septiembre

Centro Cultural Pasaje Dardo Rocha

Polivalente

11:30 - Comportamiento colectivo de agentes autopropulsados

Guisandez L¹, Baglietto G¹, Albano E¹, Rozenfeld A²

¹ Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos, CONICET-UNLP

² CIFICEN (UNCPBA-CICPBA-CONICET), Olavarría

Uno de los aspectos más interesantes de los sistemas de partículas autopropulsadas es que pueden presentar una transición de fase entre un estado tipo gas y un estado con movimiento colectivo donde los agentes se aglutinan en bandadas. En particular el modelo de Vicsek con ruido vectorial, exhibe una transición de primer orden entre estos dos estados al variar el ruido. Éste último corresponde a una perturbación en la dirección de movimiento de las partículas. Si bien el modelo de Vicsek fue inspirado

en sistemas biológicos, donde los valores de los parámetros que caracterizan a los agentes dependen de cada agente, considera que la perturbación es igual para todos los agentes. En este trabajo, relajamos dicha condición, incorporando así heterogeneidad al sistema, y consideramos que cada agente posee un ruido propio dando lugar a una población de ruidos correspondiente a una distribución normal. Considerando sistemas con distintas desviaciones estándar observamos que existe un valor a partir del cual la transición es continua, dando lugar así a la existencia de un punto tricrítico. Este cambio de orden de la transición suele ocurrir en sistemas con *quenched disorder*, donde además pueden observarse fases de Griffiths. Por otro lado, mediante técnicas de escaleo de tamaño finito fue posible determinar los exponentes de la transición.

11:50 - Aportes al estudio de la resurgencia de la tos convulsa en la Argentina desde el modelado matemático

Fabricius G¹

¹ *Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas, CONICET y Universidad Nacional de La Plata*

La tos convulsa o pertussis es una enfermedad infecciosa respiratoria que afecta principalmente a los niños menores de un año de edad. A pesar del notable impacto que tuvo la introducción de la vacunación masiva en la reducción de la incidencia de la enfermedad a nivel mundial, esta patología sigue siendo en la actualidad un problema para la salud pública. En nuestro país la introducción de la vacuna en la década del 70 redujo notablemente el número de casos que se mantuvo en valores muy bajos durante la década del 90. A partir de 2003 comenzó a registrarse un aumento en el número de casos llegando a reportarse 76 muertes a causa de la enfermedad en 2011. Mientras los organismos de salud pública vienen tomando distintas medidas para intentar controlar la situación, las razones de esta resurgencia son materia de debate. En este marco los modelos matemáticos aparecen como una herramienta valiosa a la hora de intentar comprender el problema de la transmisión e incluso de evaluar posibles estrategias de control [1,2]. En esta charla analizaré distintas hipótesis que podrían explicar el aumento sostenido de casos de la enfermedad observado entre 2003 y 2011 y daré argumentos que apuntan a considerar la pérdida de inmunidad conferida por la vacuna como un factor relevante para explicar este fenómeno.

A partir de resultados obtenidos con un modelo compartimental estocástico estructurado en edades explicaré la conexión que existe entre la sincronía de los rebrotes epidémicos observados en las distintas provincias y la pérdida de la inmunidad conferida por la vacuna en la población adulta. Cabe destacar que, a diferencia de otros casos en que los efectos estocásticos pueden tenerse en cuenta a través de la renormalización de parámetros del modelo determinista [3] o construyendo aproximaciones deterministas al problema estocástico [4], en este caso la consideración de las fluctuaciones estocásticas juega un rol determinante en el comportamiento del sistema

analizado.

- [1]. Modeling pertussis transmission to evaluate the effectiveness of an adolescent booster in Argentina. G.Fabricsius, P.Bergero, M.Ormazabal, A.Maltz and D. Hozbor. *Epidemiology and Infection* 141, 718-734 (2013)
- [2]. Mathematical modeling of delayed pertussis vaccination in infants. P. Pesco, P.Bergero, G. Fabricius and D. Hozbor. *Vaccine* 33, 5475-5480 (2015)
- [3]. SIR model on a dynamical network and the endemic state of an infectious disease. M. Dottori and G. Fabricius. *Physica A* 434, 25-35 (2015)
- [4]. SIR model with local and global infective contacts: A deterministic approach and applications. A. Maltz and G. Fabricius, *Theoretical Population Biology* 112, 70-79 (2016)

12:10 - Simulación del egreso competitivo de personas no-esféricas

Parisi D ¹, Cruz-Hidalgo R², Zuriguel I³

¹ *Instituto Tecnológico de Buenos Aires*

² *CONICET*

³ *Departamento de Física y Matemática Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, Pamplona, España*

Presentamos un marco numérico para simular la dinámica peatonal en condiciones altamente competitivas mediante un modelo basado en fuerzas y que considera partículas esféricas cilíndricas, en lugar de los tradicionales discos simétricos. Esta modificación de la forma de los individuos simulados permite reproducir naturalmente hallazgos experimentales recientes del proceso de evacuación de una habitación a través de una puerta angosta, en situaciones de alta fuerza de contacto entre los peatones. En particular, obtenemos una distribución del tipo ley de potencia para los intervalos de tiempo entre el paso de dos individuos consecutivos. Además, mostramos que esta mejora en el modelo revela nuevas características donde la rotación de las partículas adquiere gran importancia.

14:00 - Dinámicas de opiniones y enfermedades interactuantes en redes complejas multicapas

Vázquez F¹, Velásquez-Rojas F¹

¹ *Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos, CONICET-UNLP*

La formación de opiniones y la propagación de enfermedades contagiosas son dos de los procesos dinámicos más estudiados en redes complejas. Estos procesos han sido explorados independientemente uno del otro durante los últimos años, y se han identificado muchas de sus propiedades de propagación en diversas topologías complejas. Sin embargo, muy poco se sabe sobre un posible escenario en el que la dinámica de

opiniones interactúa con la de la enfermedad. De hecho, es de esperar que estas dos dinámicas no estén aisladas en sociedades reales, sino más bien que dependan una de otra y se afecten mutuamente: una persona puede transmitirle una enfermedad contagiosa a otra persona con la cual está teniendo una conversación e intercambiando opiniones sobre algún tema político. Con el fin de explorar los efectos de una dinámica sobre la otra utilizamos el modelo del votante y el proceso de contacto para modelar los procesos de opiniones y enfermedades, respectivamente. Estas dos dinámicas tienen lugar en dos capas de redes complejas que están acopladas por medio de una fracción de enlaces presentes en ambas capas. Encontramos que la dinámica de opiniones tiene consecuencias sorprendentes sobre las propiedades de propagación de la epidemia: la transición suave (continua) entre una fase sana y una endémica observada tradicionalmente en el proceso de contacto se convierte en abrupta (discontinua) cuando las redes se acoplan. Esta transición abrupta significa que si el sistema se encuentra levemente por debajo del punto de transición, un pequeño incremento de la tasa de infección provoca un gran aumento en la cantidad de personas infectadas, a diferencia de lo que ocurre en una red aislada donde el incremento de infectados es pequeño. Por lo tanto, no considerar los posibles efectos sociales sobre las epidemias puede llevar a una subestimación de la magnitud real de la propagación. Por otro lado encontramos que la epidemia tiene el efecto de retrasar el consenso de opiniones en la población respecto al observado en redes aisladas, y que los tiempos de consenso varían en forma no monótona con el acoplamiento entre las redes.

Fátima Velásquez-Rojas and Federico Vazquez, *Phys. Rev. E* **95**, 052315 (2017).

14:20 - Extensión mecánico-estadística de la Longitud Mínima de Descripción Refinada (RMDL) para el modelado estadístico de redes complejas

Perotti J I¹, Tessone C J², Caldarelli G^{3 4 5}

¹ Instituto de Física Enrique Gaviola de Córdoba, CONICET-UNC

² URPP Social Networks, Department of Business Administration, University of Zürich, Switzerland

³ IMT Institute for Advanced Studies Lucca

⁴ Istituto Sistemi Complessi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, UOS Sapienza, Roma, Italy

⁵ London Institute for Mathematical Sciences, London, UK

Los sistemas complejos frecuentemente carecen de ciertas propiedades que son requeridas por el enfoque estándar de la mecánica estadística (p. ej. equilibrio termodinámico). En este sentido, el área de modelado estadístico constituye una alternativa conveniente y, dentro de sus diversas metodologías, el principio de la Mínima Longitud de Descripción (MDL) es una de las más interesantes, ya que se relaciona con la teoría de la información y la mecánica estadística. Existen varias formulaciones de la MDL.

La MDL Refinada (RMDL) es quizás la más conveniente, ya que no requiere distri-

buciones a priori como la mayoría de los otros enfoques lo requieren. Sin embargo, la RMDL es difícil de calcular, razón por la cuál es de uso poco común.

En éste trabajo, introducimos una extensión a la RMDL—que llamamos β RMDL—cuyo cálculo resulta esencialmente equivalente al de la energía libre de un sistema termodinámico asociado, estableciéndose así importantes paralelos entre ambas disciplinas; la del modelado estadístico y la de la mecánica estadística.

En particular, encontramos que los conceptos de decodabilidad y fase termodinámica están íntimamente relacionados, lo cuál nos permite justificar una expansión en serie de altas temperaturas que facilita significativamente el cálculo y el estudio de la β RMDL. Con el fin de mostrar el poder del formalismo introducido, lo aplicamos a dos importantes problemas que surgen del estudio de las redes complejas: detección de comunidades y anidamiento, con lo cuál obtenemos interesantes resultados.

Mas precisamente, partiendo del formalismo de la β RMDL, obtenemos un método de detección de comunidades cuya desempeño es competitivo al nivel del estado del arte. Luego, en el estudio de anidamiento, el formalismo permite justificar diferentes resultados, que originalmente fueron justificados

14:40 - Modelos Teóricos de la sobrecarga de una red y su colapso bajo distintos tipos de ataques masivos

Cwilich G¹

¹ *Instituto de Física, Facultad de Cs. Exactas, Universidad Nacional de La Plata*

Ha habido un fuerte interés recientemente en la desintegración de redes luego de un ataque inicial o de una falla aleatoria, un proceso en el cual esta falla inicial conduce a mas destrucción de la red a través de una cascada [1-2-3]. Aunque mucho del interés teórico y la modelización numérica se ha concentrado redes interdependientes, en las cuales fallas en los nodos de una de las redes lleva a subsiguientes fallas en las otras redes porque algunos de sus nodos pierden sus vínculos de soporte interdependiente, un modelo quizás mas simple de una red aislada, en la cual los nodos fallan por sobrecarga, y su eliminación puede conducir a la falla de sucesivos nodos debido a la redistribución de las cargas no ha recibido el mismo intenso nivel de estudio, luego de los trabajos pioneros de Motter y Lai [4-5].

En sus estudios ellos consideraron la destrucción de una red luego de que la cascada de fallas es desencadenada por la falla de un solo nodo. Nosotros consideramos en nuestro trabajo los resultados de un ataque masivo sobre una red, y en particular los diferentes comportamientos que siguen dependiendo de la naturaleza del ataque inicial, encontrando que la red generalmente se desintegra a través de una abrupta transición de fase de primera especie.

Estudiando la distribución de las centralidades de intermediación (betweenness centrality) (BC) de los diferentes nodos luego del ataque inicial determinamos cuales son los mas vulnerables y cn tendencia a fallar en los siguientes estadios de la cascada;

mostramos en el caso de un grafo aleatorio regular (Random Regular Network) (RR) los nodos que terminan con mas vecinos sobrevivientes luego del ataque inicial son los que tendrán el mayor aumento en su BC y sean los primeros en fallar , conduciendo a la desintegración. En el caso de las redes de Erdős-Renyi (ER) son los nodos que tienen inicialmente los mas bajos valores de BC. Los que resultan mas vulnerables y van a marcar el camino al fallo generalizado.

Hemos estudiando la diferencias en la respuesta de la red cuando sufre un ataque de-localizado, en el cual una fracción $(1-p)$ es inicialmente eliminada al azar, y un ataque en el cual el mismo numero de nodos es eliminado, localizándolos alrededor de una cierta región de la red, e interpolando entre estos dos extremos. Notablemente, en oposición a otros modelos [6-7] las redes son mucho mas resistentes cuando los nodos atacados inicialmente están cercanos unos a otros, puesto que esto tiene el efecto de aumentar el numero total de nodos que tendrán a todos sus vecinos sobreviviendo el ataque inicial en otras zonas de la red; hemos estudiado la progresión de la sobrecarga de los nodos en función de la distancia al centro del ataque, y mostramos que notablemente los mas alejados de la zona atacada, son los que fallan primero.

- [1]. S. V. Buldyrev, R. Parshani, G. Paul, H. E. Stanley, and S. Havlin, *Nature*, 464:1025 (2010)
- [2]. Y. Kornbluth, S. Lowinger, G. Cwilich, and S. V. Buldyrev. *Phys. Rev. E*, 89:032808, (2014)
- [3]. S. Lowinger, G. Cwilich, and S.V. Buldyrev, *Phys. Rev. E* 94, 052306 (2016)
- [4]. Y.C. Lai, A.E. Motter.. *Phys. Rev. E.*, 66, (2002)
- [5]. A. E. Motter.. *Phys. Rev. Lett.*, 93, (2004)
- [6]. C. D. Brummitt, R. M. D? Souza, and E. A. Leicht, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 109 E680-E689 (2011)
- [7]. W. X. Wang and G. Chen, *Phys. Rev. E* 77, 026101 (2008)

15:00 - ¿Ser o no ser? Células madre y diferenciación celular

Guisoni N¹, Martínez Corral R³, García Ojalvo J³, de Navascués J⁴

¹ *Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos, CONICET-UNLP*

² *Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP*

³ *Department of Experimental and Health Sciences, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, España*

⁴ *European Cancer Stem Cell Research Institute, School of Biosciences, Cardiff University*

Las células madre tienen la capacidad de dividirse y diferenciarse en células del tejido en que se encuentran. Si el equilibrio dinámico entre proliferación y diferenciación de las células madre no es preciso, se puede generar una enfermedad proliferativa o pérdida de la funcionalidad del órgano. En varios sistemas la decisión del destino celular (¿diferenciarse o mantener la identidad de célula madre?) es definida por la inhibición mutua entre células vecinas a través de la vía de señalización de Notch. Usualmente, los modelos matemáticos para la interacción Notch-Delta resultan invariablemente en un quiebre de simetría entre estados de señalización, es decir, a partir de dos células madre siempre se obtienen destinos diferentes: una de ellas mantiene la

identidad de célula madre y la otra se diferencia. Si bien el quiebre de simetría es un mecanismo que explica la diferenciación celular, este no es consistente con resultados experimentales para el epitelio del intestino de la *Drosophila melanogaster* (la mosca de la fruta), que muestran que existe diversidad en los destinos posibles de pares de células. En esta presentación mostramos un ejemplo muy productivo de la interacción entre físicos y biólogos, con un ida y vuelta de modelos matemáticos y experimentos.

15:20 - Un modelo de series temporales heterogéneas con burstiness

Schaigorodsky A L^{1 2}, Perotti J I², Billoni O V^{1 2}

¹ *Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, Universidad Nacional de Córdoba*

² *Instituto de Física Enrique Gaviola*

En este trabajo presentamos un modelo probabilístico para la generación de series temporales cuya dinámica muestra la presencia de bursts con una distribución heterogénea de eventos.

El modelo está basado en un mecanismo introducido por Cattuto et al.[1], el cual consiste en un proceso de Yule-Simon con un núcleo de memoria que permite introducir correlaciones de largo alcance en la serie temporal generada[2]. El núcleo de memoria propuesto por Cattuto decae lentamente con el tiempo, y la secuencia entre eventos generada no presenta burstiness. Realizando una simple modificación, la cual consiste en el empleo de un núcleo de memoria acotado, encontramos que es posible generar series temporales con dinámica de burstiness. La distribución de popularidades de los eventos generados resulta una ley de potencia, al igual que en los procesos de Yule y Cattuto, pero con diferente exponente, el cual explicamos mediante un proceso de ramificación ('branching process').

Mediante la caracterización de la dinámica dentro del núcleo de memoria explicamos la presencia de burstiness en la serie generada por el modelo.

[1]. C. Cattuto et al., A Yule-Simon process with memory, *Europhys. Lett.*, 76(2), pp.208-214 (2006)

[2]. Schaigorodsky AL, Perotti JI, Billoni OV (2016) A Study of Memory Effects in a Chess Database. *PLoS ONE* 11(12): e0168213. doi:10.1371/journal.pone.0168213

15:40 - Dinámica y codificación de la información: el rol de los silencios en la actividad neuronalMontangie L¹, Montani F¹¹ *Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos, CONICET-UNLP*

Experimentos en la corteza auditiva sugieren que la actividad correlacionada de ciertas poblaciones neuronales puede ser regulada mediante contribuciones de inputs comunes de las mismas que no siguen distribuciones gaussianas. Modelamos estas desviaciones utilizando procesos de caminantes aleatorios no Gaussianos que son caracterizados por la curtosis como parámetro adicional. Mostramos cómo este tipo de descripción permite proporcionar una estrategia adecuada para explicar la encodificación en el caso de poca actividad neuronal y sus consecuentes implicaciones en la transmisión de la información.