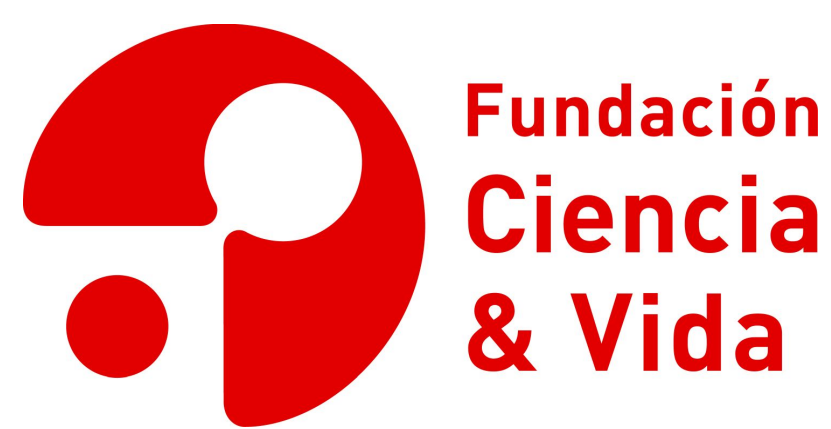


Estudiando la influencia del pánico en el comportamiento humano a través de simulaciones estocásticas basadas en reglas



I. Fuenzalida¹, A. Bernardin^{1,2}, A.J.M. Martin^{1,2} & T. Perez-Acle^{1,2}



{|ifuenzalida|abernardin|amartin|tomas}@dlab.cl

1 Computational Biology Lab, Fundación Ciencia & Vida, Santiago, Chile.

2 Centro Interdisciplinario de Neurociencia de Valparaíso, Facultad de Ciencias, Universidad de Valparaíso, Chile.

Abstract

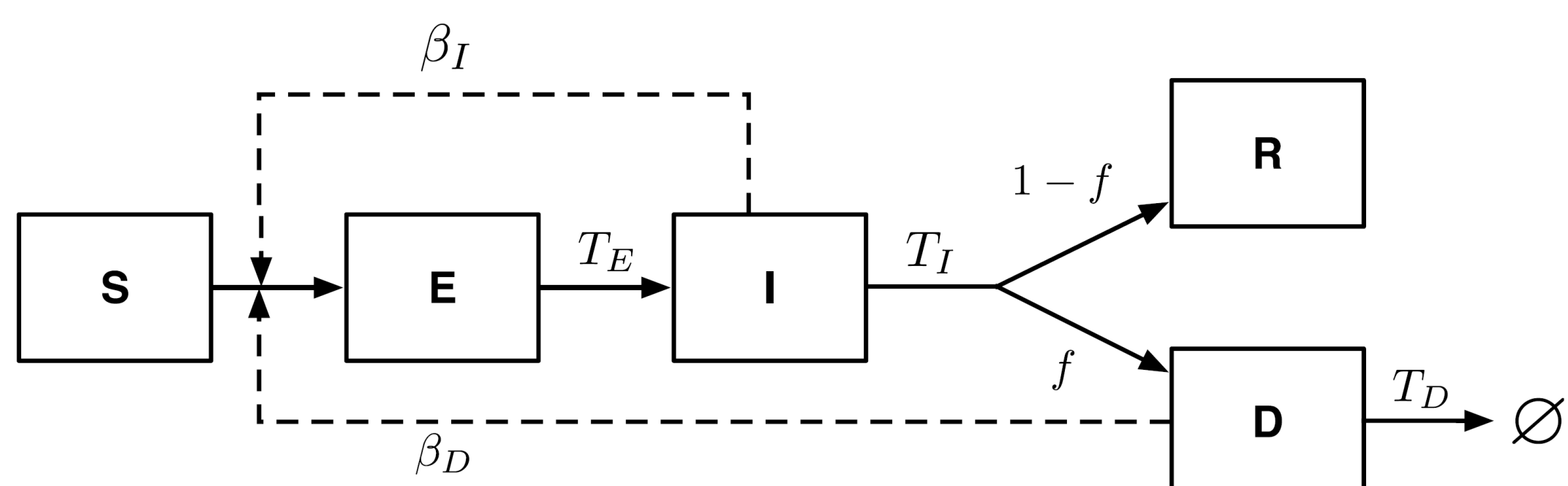
En este estudio presentamos el efecto producido por la aplicación de distintas medidas para controlar el pánico sobre poblaciones humanas que se encuentran enfrentadas a una situación crítica, en este caso hemos ocupado el Ébola, una enfermedad mortal altamente contagiosa. Tomando como base un modelo compuesto por 10 ciudades cuyas densidades poblacionales son equivalentes a las 10 principales ciudades de Chile, interconectadas por un sistema de carreteras bidireccional, hemos modelado un sistema donde el Ébola es transmitido por vectores humanos. Junto con la dispersión de la enfermedad, los agentes (personas) se ven expuestos a flujos de información que influyen la toma de decisiones mediante la generación de pánico. Mientras algunas experiencias a las que se ven sometidos los agentes aumentan el nivel de pánico, otras las bajan. Del mismo modo, hemos modelado un gobierno central que entrega información que fluye a través de la simulación, entregando mensajes destinados a disminuir el nivel de pánico de la población. Para llevar a cabo esta simulación hemos usado PISKA, una herramienta que utiliza supercomputadores desarrollada en nuestro grupo, que además es posible extender a distintos modelos que pueden representar una alta variedad de sistemas complejos.

Introducción

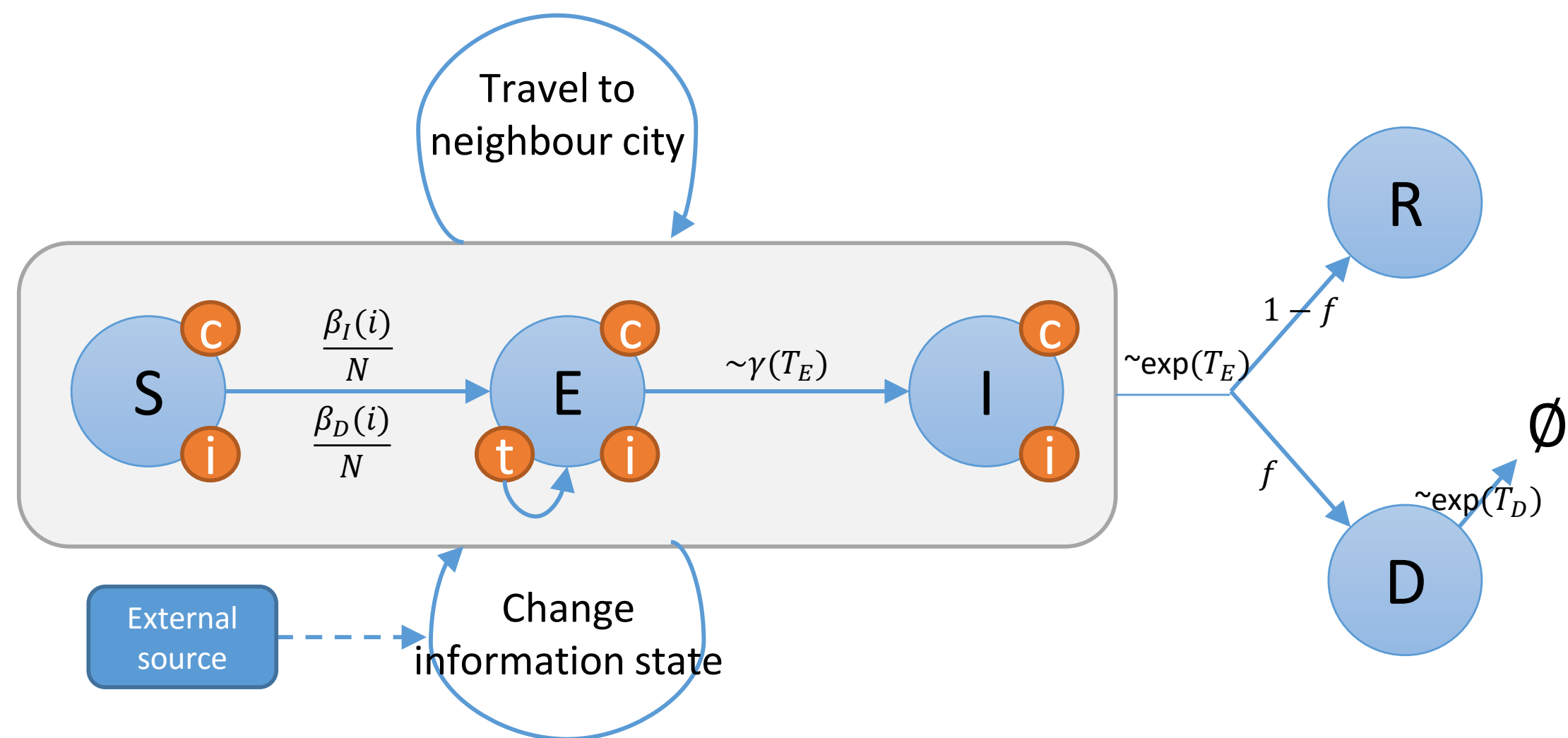
Hemos desarrollado una herramienta llamada PISKA [1] que permite el modelamiento de sistemas complejos a múltiples escalas y que utiliza supercomputadores para la generación de la simulación. PISKA utiliza el lenguaje formal Kappa [2] para describir los agentes que participan en la simulación y las reglas que median las distintas dinámicas en las que se ven envueltos los agentes. PISKA permite la definición de espacios explícitos (o compartimentos), tales como países, ciudades y comunas, y vías de comunicación entre estos compartimentos, tales como carreteras, aviones y trenes, entre otros. Notoriamente, tanto los agentes, las vías de comunicación, así como los compartimentos, pueden representar múltiples escalas espaciales y/o temporales. Mientras que algunos agentes pueden representar personas individualizables, otros pueden representar asociaciones de personas, flujos de información, vectores de transmisión de la enfermedad, o tratamientos. Del mismo modo, un compartimento puede representar una ciudad, a la misma vez que otro compartimento representa un edificio, o incluso una habitación en éste. Por otro lado, dado que PISKA se ejecuta en forma paralela, las limitaciones tanto de memoria así como de tiempo de cómputo son altas, permitiendo el modelamiento de miles e incluso millones de agentes, cada uno distinguible y caracterizable de acuerdo a los criterios del modelo.

Además de medidas clásicas para evitar el colapso del sistema tales como el establecimiento de cuarentenas, la entrega de información veraz y oportuna (flujos positivos) por parte del gobierno central resulta una medida eficaz para controlar el pánico en la población. Como contraparte, la existencia de flujos de información no controlados en la población (flujos negativos), tendientes a generar situaciones de pánico, resulta una amenaza tan grave como la dispersión de la enfermedad misma. En las situaciones en las que el gobierno central no intervino para contrarrestar los flujos de información negativos, el colapso sobrevino. Es más, a pesar del establecimientos de medidas de control de los vectores de la enfermedad, así como de restricciones a los viajes entre las ciudades, la herramienta más eficaz para controlar el pánico en la población resultó ser la generación de flujos positivos de información.

Modelos basados en los recientes brotes del Ébola en África

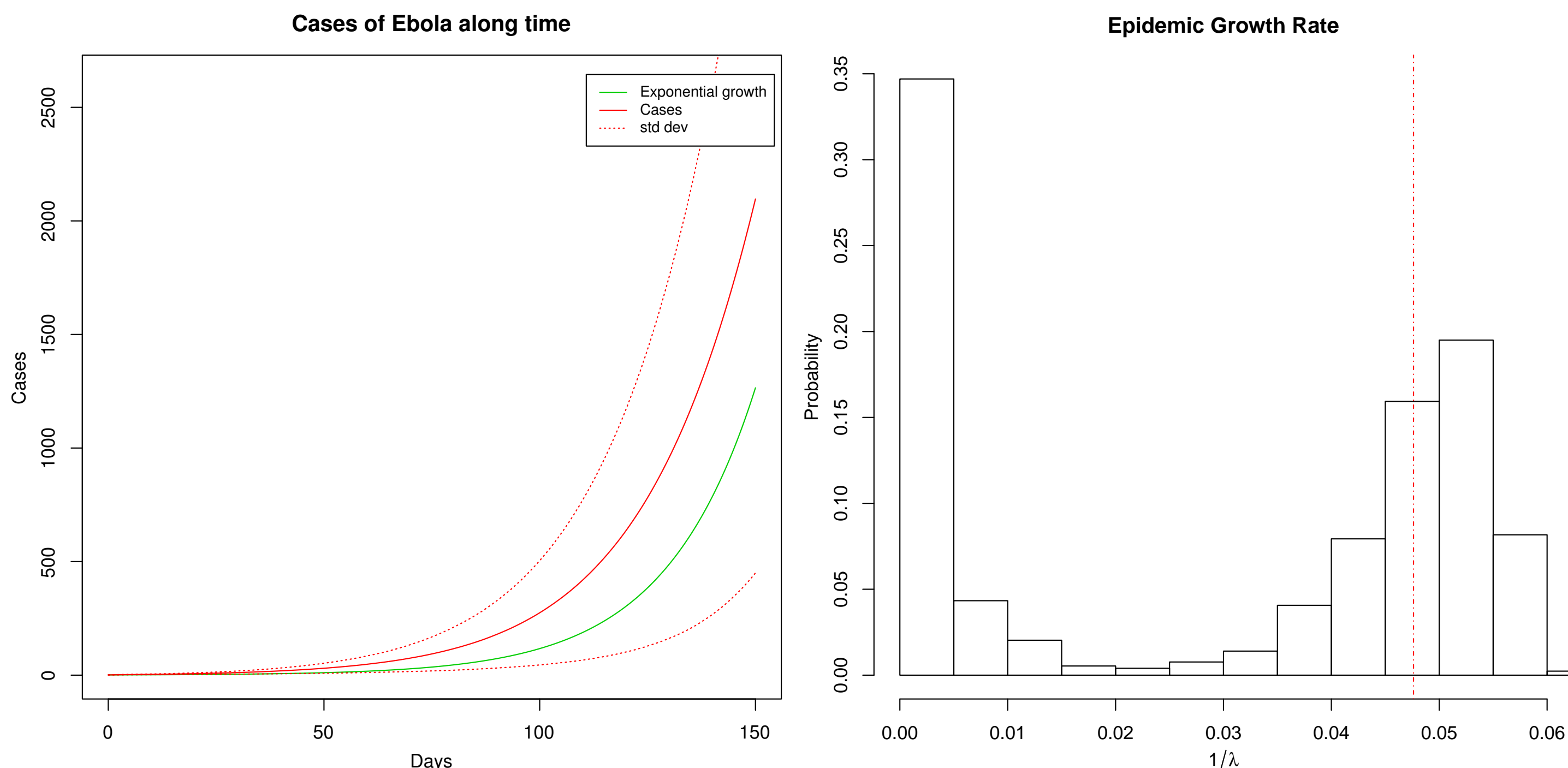


Modelo de dispersión del virus ébola descrito en [3] basado en ecuaciones diferenciales ordinarias. S son los individuos susceptibles; E los individuos expuestos (contagiados pero que no manifiestan síntomas ni transmiten la enfermedad); I son los individuos infectados que si pueden transmitir la enfermedad; R son individuos que superaron la enfermedad y adquirieron inmunidad frente a ella; y D son los los individuos muertos (Dead) que si pueden transmitir la enfermedad. Las distintas tasas existentes entre los distintos tipo de individuo replican los datos reales en los recientes brotes ocurridos a finales de 2014 en distintas regiones de África.



Modelo del sistemas SEIRD escrito en el lenguaje Kappa. Incluye variables espaciales (2 agentes sólo interactúan si están en el mismo compartimento) y de información (el flujo de informacin positiva se da por una perturbacin). La informacin de caga agente tiene efectos en sus tasas de interacción β_I y β_D y en la tasa de viaje entre ciudades. El tiempo T_E es modelado con una distribución γ y T_I y T_D con distribución exponencial.)

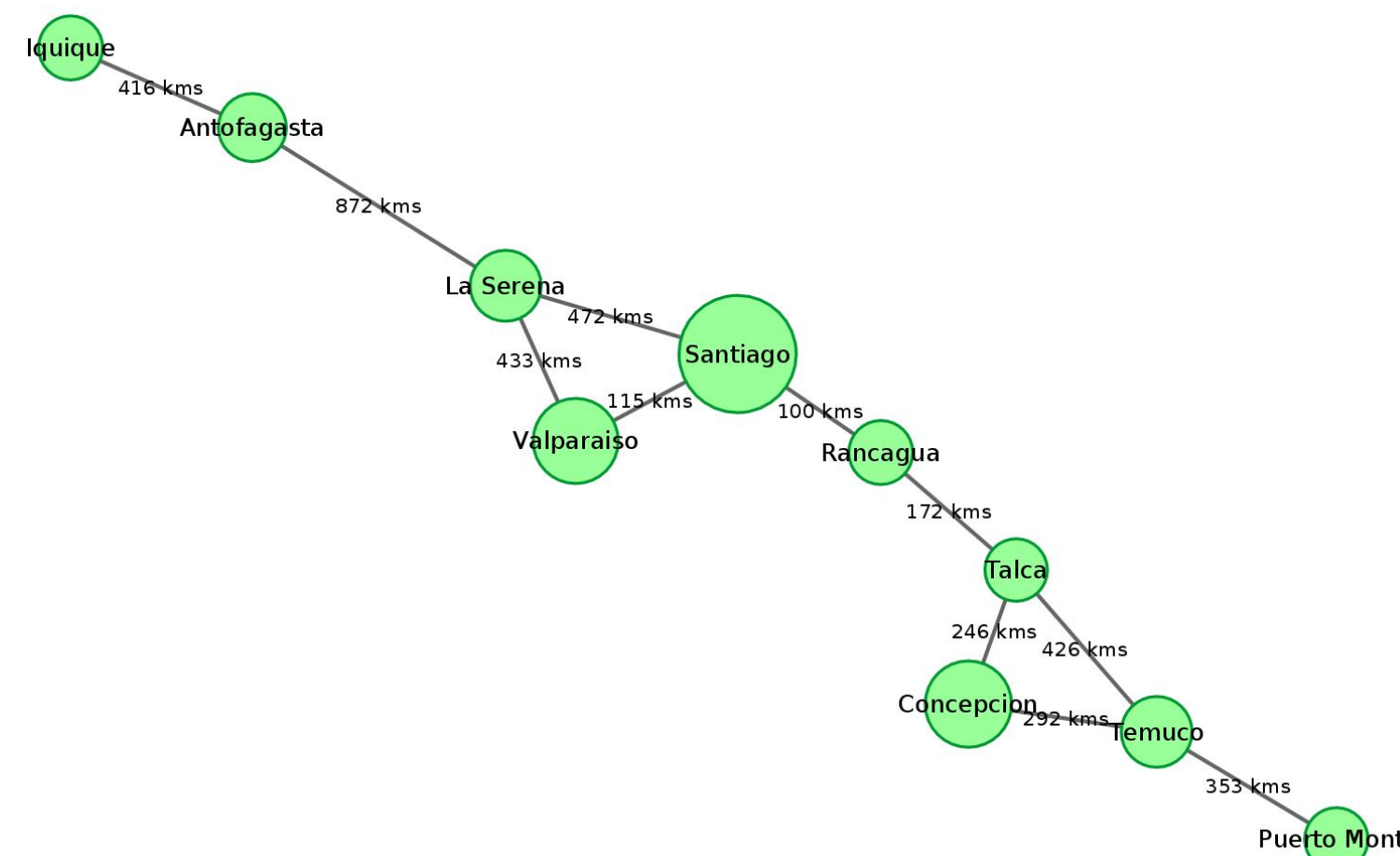
Comparación del modelo basado en ODEs con simulaciones en PISKA



Modelo SEIRD de dispersión del virus ébola descrito en [3]. (Izquierda) En verde, cantidad de casos esperados usando una tasa de crecimiento exponencial = 1/21. En rojo, promedio y desviación estándar de 10 mil simulaciones estocásticas del modelo equivalente. (Derecha) Histograma para el valor del crecimiento exponencial en cada simulación estocástica.

Agregando espacialidad: conectividad terrestre en Chile

El modelo SEIRD descrito en [3] considera la propagación de la enfermedad en una sola ciudad (un espacio homogéneo). Para ilustrar los efectos derivados de la espacialidad hemos desarrollado un modelo compartimentado basado en las 10 ciudades más pobladas de Chile. El modelo considera datos como la densidad poblacional y el tiempo de viaje entre ciudades vecinas. Las tasas de transporte se han estimado fijando entre 1 y 2 la cantidad de viajes promedio por persona al mes.

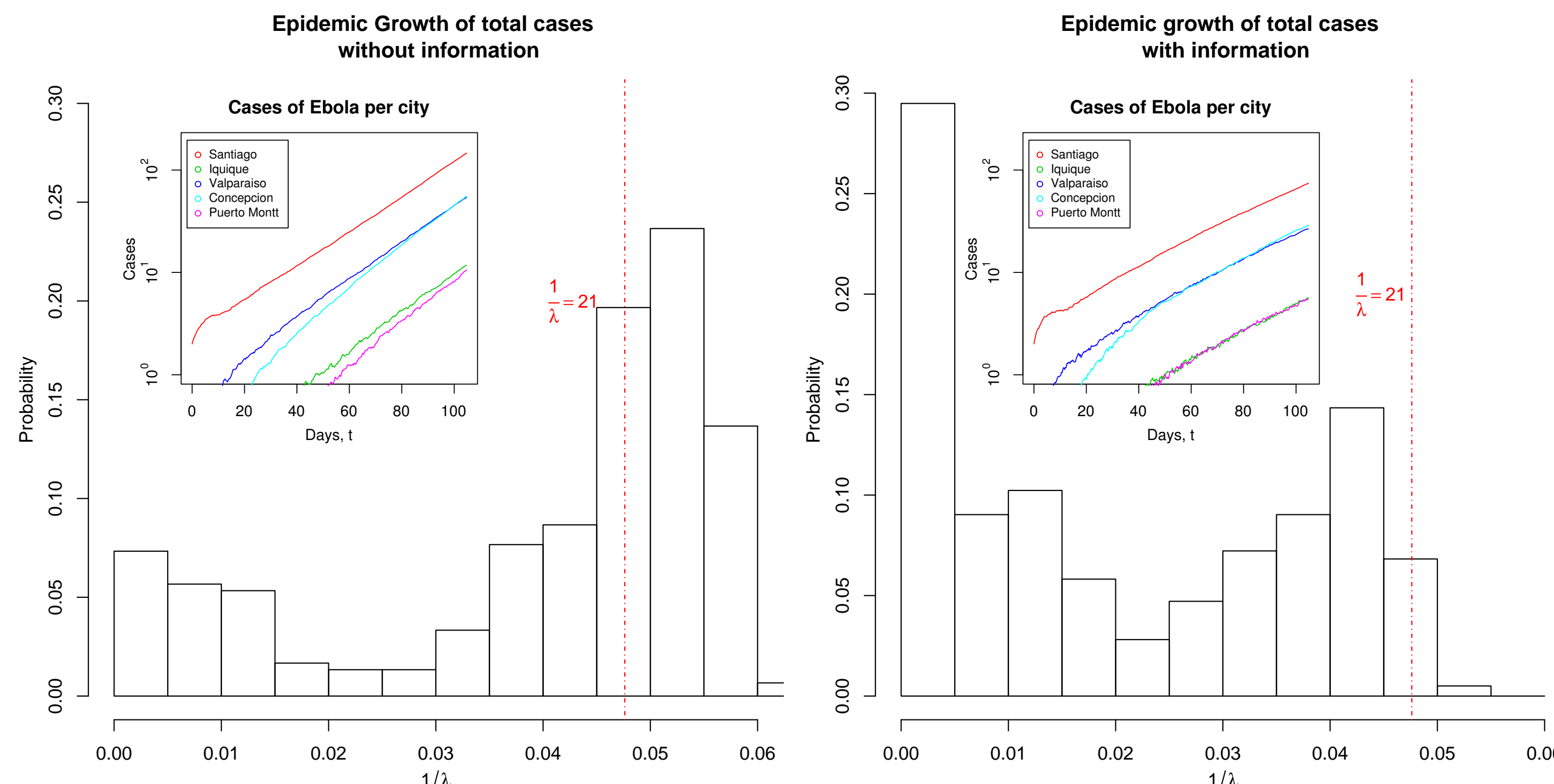


Ciudad	Población	Área	Densidad
Santiago	5.898.612	641	9.202
Concepción	1.002.043	273	3.670
Valparaíso	934.859	239	3.912
La Serena	413.716	107	3.867
Temuco	410.520	53	7.746
Antofagasta	348.247	46	7.571
Iquique	279.408	53	5.272
Rancagua	277.090	70	3.958
Puerto Montt	266.200	52	5.119
Talca	253.743	50	5.075

Descripción de las 10 ciudades usadas en nuestro modelo y representación en forma de red de la conectividad entre las 10 ciudades. En la figura, cada nodo representa una ciudad y su diámetro es proporcional a la densidad de población existente en la realidad. Las conexiones entre las ciudades representan la existencia de una autopista y su longitud es proporcional a la distancia real existente entre las ciudades.

Estudiando el efecto de la información en sistemas compartimentados

El modelo completo considera como los flujos de información afectan las tasas de los eventos en el sistema. Naturalmente, las personas tienden a adquirir información a travs de distintos medios. Lamentablemente estos flujos naturales tienden a generar confusin y desinformar a las personas, provocando situaciones de pnico o haciendo que la gente no tome la precauciones pertinentes con la enfermedad. Un flujo positivo proveniente de una fuente confiable y con buena difusin ayuda a disminuir los efectos negativos de estos flujos.



Histogramas y evolución temporal de mil simulaciones estocásticas. (Izquierda) Simulaciones que no consideran flujos positivos de información. El histograma muestra la frecuencia para distintos valores del crecimiento exponencial en cada simulacin. El subgráfico muestra la cantidad de casos promedio en 5 ciudades durante los primeros 100 días, considerando 2 infectados en $t = 0$. (Derecha) Simulaciones que consideran un flujo de información positiva dirigido a todas la ciudades al día 5 de la simulación.

Conclusiones

- La entrega de información veraz y oportuna (flujos positivos) por parte del gobierno central resulta una medida eficaz para controlar el pánico en la población
- La existencia de flujos de información no controlados en la población (flujos negativos), tendientes a generar situaciones de pánico, resulta una amenaza tan grave como la dispersión de la enfermedad misma
- En las situaciones en las que el gobierno central no intervino para contrarrestar los flujos de información negativos, el colapso sobrevino
- La dispersión de enfermedades con características similares al Ébola puede ser rápidamente detenida usando flujos de informacin positiva a la población, como por ejemplo el conocimiento de las formas de contagio.

[1] I. Fuenzalida, A. J. Martin, and T. Perez-Acle, Proceedings of CARLA 2014, to appear in CCIS (Springer) (2014).

[2] V. Danos, J. Feret, W. Fontana, R. Harner, and J. Krivine, Rule-Based Modelling, Symmetries, Refinements, volume

5054 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 103–122, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.

[3] J. S. Weitz and J. Dushoff, Scientific reports 5, 8751 (2015).