

Estudio sobre los efectos de virtualizar el campus como estrategia para minimizar los contagios por SARS-CoV-2 producidos en los espacios académicos

Juan M. Cordovez¹

¹ Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad de los Andes. Grupo de Investigación en Biología Matemática y Computacional BIOMAC. Bogotá, Colombia.

Introducción

Diferentes países han implementado diferentes estrategias no farmacológicas de contención y mitigación del virus **SARS-CoV-2**; estrategias que sin duda han servido para disminuir el contagio y las muertes. Sin embargo, estas estrategias pusieron en pausa actividades económicas que han puesto en peligro la estabilidad de la sociedad. En particular el sector educación a pagado un precio alto en medio de las medidas de prevención. Los colegios, universidades y las guarderías para la pequeña infancia han visto completamente restringida su operación. Los costos más altos son sociales: pérdida de tiempo, atraso en el aprendizaje, disrupción de las dinámicas de los hogares, alteración de la salud (mental y física). También hay un costo económico especialmente difícil de asumir por las instituciones privadas. Debido a esto el gobierno nacional ha emitido un decreto que permite la reactivación gradual a partir del 1ero de septiembre de 2020. Algunas Universidades han planeado su segundo semestre del 2020 casi enteramente virtual, pero algunas otras han pensado en estrategias que combinan presencialidad y virtualidad. En un escenario de semi-presencialidad es importante establecer cuales podrían ser las consecuencias de reunir a un grupo de personas en el campus en términos de contagios por SARS-CoV-2.

La Universidad de los Andes propuso un modelo semi-presencial con algunos cursos desarrollándose enteramente de manera virtual y otros con presencialidad en el campus a partir del mes de octubre. Los cursos que se escogieron para virtualizar fueron aquellos que representaban un mayor riesgo de contagio debido a su gran tamaño o por el número de estudiantes que compartían con otros cursos de la Universidad (*degree*). Bajo estas circunstancias decidimos explorar con la ayuda de modelos matemáticos las posibles consecuencias (medidas como el número de contagios dentro de la universidad) producto de la estrategia de virtualización y compararla con un escenario hipotético donde la universidad hubiera operado de forma normal. Adicionalmente exploramos el efecto que tiene la vigilancia epidemiológica entendida como la detección y prevención de la entrada de personas contagiadas a la Universidad.

Metodología

El modelo propuesto es un modelo que combina modelación por agentes y ecuaciones diferenciales estocásticas. La modelación por agentes permite describir los aspectos relevantes de cada estudiante de la universidad. Para cada estudiante (agente) consideramos el programa al que pertenece, los cursos en los que está inscrito, la hora a la que se dicta el curso y el salón en el que se dicta. Las ecuaciones diferenciales se usan para entender el progreso de la epidemia; la evolución de la infección incluyendo la aparición de casos críticos. La estocasticidad permite incluir la sensibilidad intrínseca de estos modelos a las condiciones iniciales y la configuración espacial.

Se trabajó con la población de los estudiantes inscritos en el semestre 2020-2. No se consideran administrativos ni profesores. Se investiga solo los contagios generados en el campus, pero se incluye la posibilidad de contagios por fuera de la universidad, modelado como una tasa de contagios constante producida por la ciudad de Bogotá. No se consideran los que ocurren en espacios entre salones, como la biblioteca, las áreas comunes o cafetería. La simulación se hace por 8 semanas comenzando el 1 de octubre.

Para el 2020- 2 la universidad tiene 19209 estudiantes inscritos que pertenecen a 33 programas (agrupando todas las licenciaturas en una y los programas de posgrado en otro) con una cartelera de 5245 clases, de las cuales 1058

tienen componente presencial (contando las secciones de un mismo curso como clases distintas). La universidad tiene una infraestructura de 360 salones (repartidos en 36 bloques pero este semestre solo se usan 149).

Los agentes en el modelo siguen siguientes reglas:

- I. Cada estudiante tiene un horario independiente con clases que se dictan a cierta hora y en cierto salón.
- II. Se seleccionan todas las clases que concurren para cada franja de 30 minutos, empezando las 6:30 am y hasta 9:00 pm de cada día y se aplica el modelo epidemiológico para cada grupo de estudiantes que se encuentra juntos en el mismo espacio físico (salón).
- III. Se repite este proceso para cada día de la semana de lunes a sábado. Se consideran contagios por fuera del campus a una tasa fija.
- IV. Se repite este proceso por 8 semanas hasta completar el semestre académico.
- V. Todos los estudiantes atienden presencialmente sus clases a no ser que: 1) la clase sea virtual o 2) el estudiante este infectado (y exista vigilancia epidemiológica en el campus) y 3) esté hospitalizado
- VI. Las clases que se escogen para virtualizar corresponden a aquellas que la oficina de admisiones y registro reportó como virtual.

El modelo epidemiológico divide la población en: Susceptibles (S), Expuestos (E) - personas que han adquirido el virus pero es muy temprano para ser identificadas por síntomas o pruebas, pueden contagiar en tasas menores -, Infectados (personas con carga viral alta, pueden ser asintomáticos (A) o sintomáticos leves a graves (I), Hospitalizados (H), Hospitalizados en UCI (U), Recuperados (R) - superan la infección y desarrollan anticuerpos, no pueden volver a infectarse - y Muertos (D). Los parámetros que se usan en el modelo corresponden a los estimados para la ciudad de Bogotá usando la misma estructura epidemiológica (ref).

Las condiciones iniciales del modelo para todas las simulaciones fueron: 30 expuestos y 30 infectados (24 asintomáticos y 6 sintomáticos), asumiendo una proporción de 0.4% de infectados que resultan de asumir una ocupación de UCI en Bogotá de 1500 a octubre 1. 1920 recuperados asumiendo una proporción del 10%. Los estudiantes de cada categoría se escogen de forma aleatoria.

Se corrieron las siguientes simulaciones: 1. La Universidad operando con todas sus clases presenciales y sin vigilancia epidemiológica, 2. La Universidad operando con todas sus clases presenciales y con vigilancia epidemiológica y 3. La Universidad operando con el esquema de virtualización escogido. No se ensayó el sistema escogido con vigilancia porque los resultados de la virtualización son muy positivos. Para cada simulación se gráfica el número de casos diarios para el periodo de 8 semanas con intervalos de confianza del 95% y el número acumulado de infecciones originadas en el campus. También se identifican los cursos que mayor contribución hacen a los contagios y se explora la evolución de los contagios (quien contagia a quien). Cada simulación tiene 5 realizaciones (con diferentes escenarios de infección inicial).

Resultados

Las simulaciones sugieren que de haber operado el campus de forma presencial (empezando el 1ero de Octubre y hasta el 1ero de diciembre) usando como condiciones iniciales las fracciones estimadas de personas infectadas para la ciudad de Bogotá, se hubieran generado del orden de 300 infecciones en el periodo. Contagios autóctonos, es decir, que se originaron dentro del campus en un espacio de académico. De tener todas las clases operando de forma presencial, pero implementando vigilancia epidemiológica, es decir removiendo los individuos infectados, las infecciones se podrían reducir hasta casi una cuarta parte. La razón por la cual no se reducen a cero las infecciones es por que en el modelo se permite que los individuos expuestos circulen, asumiendo que su carga viral y síntomas son difíciles de detectar.

Al simular con el modelo el esquema de virtualización escogido para lo restante del semestre 2020 se observa que los contagios que se podrían generar son muy pocos, el modelo estima menos de 10 contagios producidos dentro del campus en sesiones de clases. Este resultado es compatible con un esquema de virtualización generalizado con

pocos cursos con sesiones presenciales en salones donde se garantizaría el distanciamiento social. Estos resultados se pueden ver en la figura 1 donde se pueden comparar los tres escenarios simulados empezando en octubre 1 y por 8 semanas, todos los escenarios comienzan con los mismos valores de condiciones iniciales (pero no necesariamente los mismos estudiantes en cada categoría). Las 5 realizaciones de cada escenario se usan para producir los intervalos de confianza mostrado como sombras en la figura. Observe el valor de casos acumulados al final del periodo para cada escenario

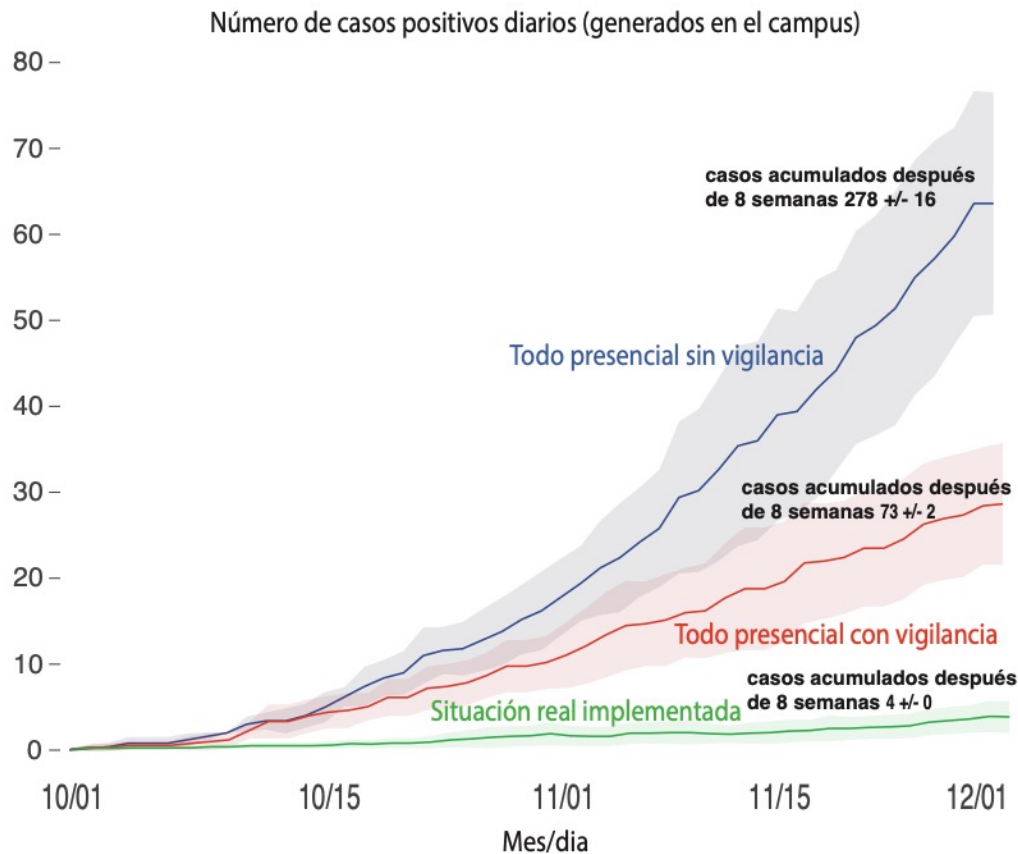


Figura 1. Número de casos positivos diarios y acumulados para el periodo para cada escenario. 5 realizaciones de cada uno con condiciones iniciales de 30 expuestos, 24 asintomáticos, 6 sintomáticos y 1920 recuperados. Los estudiantes de cada categoría se escogen de forma aleatoria.

Una pregunta importante y de mucho valor es identificar los cursos que mas aportan a las infecciones. En la figura 2 mostramos para cada escenario los 5 cursos que mas contribuyeron a generar infecciones en el campus. La medida de contribución usada fue contar cuantas veces el curso fue el espacio en el que un estudiante contagió a otro. El valor es el acumulado para las 5 realizaciones, es importante aclarar que en cada realización el número de personas infectadas es el mismo, pero son diferentes estudiantes inscritos en diferentes cursos, de esta manera el desarrollo de la infección en cada realización puede dar cursos diferentes dependiendo del horario que tengan inscritos los estudiantes seleccionados de forma aleatoria. Note en la figura 2 que el caso real, es decir el de virtualización

implementado en el campus, solo arrojó dos cursos que en las 5 realizaciones contribuyeron a infecciones.

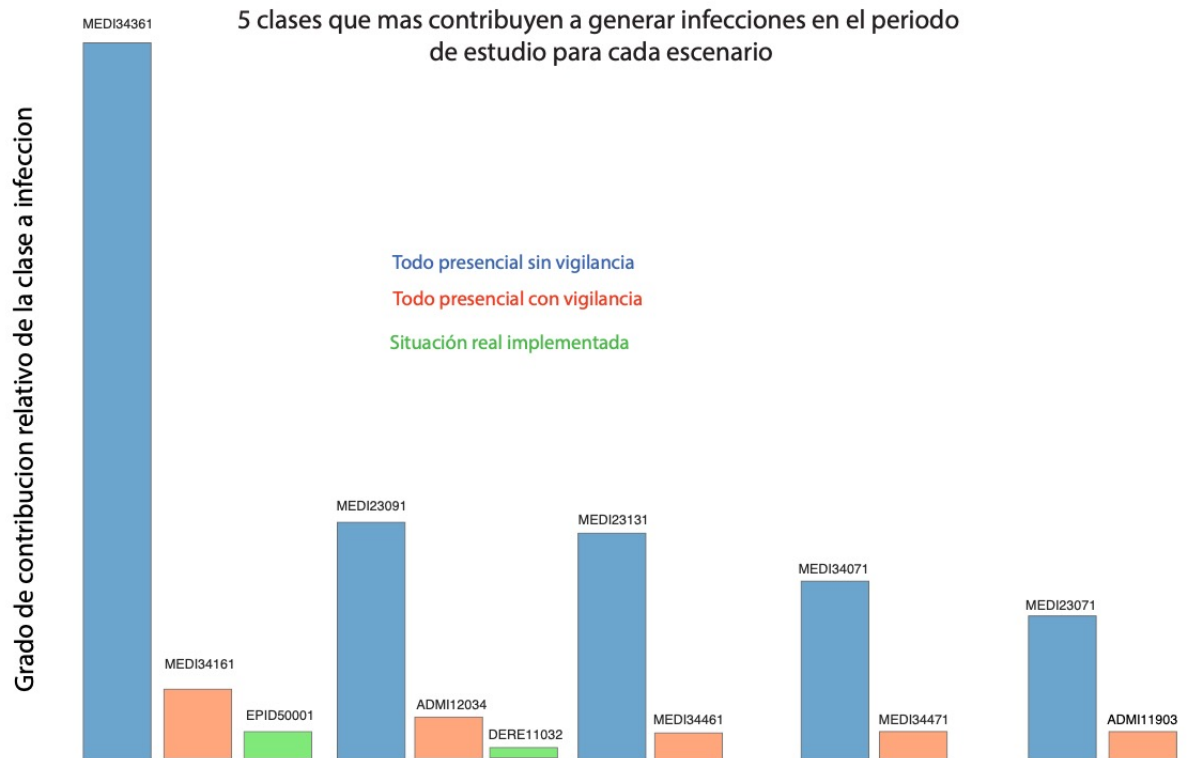


Figura 2. Cursos que más contribuyen a la red de contagios (sacada de las 5 realizaciones combinadas). Las barras azules corresponden al caso todos los cursos presenciales sin vigilancia, las barras naranjas corresponden al caso todos los cursos presenciales con vigilancia, y las barras verdes corresponden al caso real. Note que en el caso real solo dos cursos contribuyen a los contagios, en los otros dos escenarios se escogieron los 5 cursos que más contribuyeron. El alto de la barra representa la importancia relativa del curso en la red de contagios. Es importante notar que en la realidad estos cursos no son problemáticos, fueron el resultado de las condiciones iniciales. (ver texto para aclaración)

Para entender la forma en la que ocurren las infecciones es posible generar una red de contagios que revele el papel de los cursos. La figura 3, en color azul, se muestra el caso de una subred de contagios en la cual el curso más relevante en el escenario todo presencial sin vigilancia aparece repetidas veces. Cada nodo es un estudiante, identificado con su número de estudiante (generado de forma aleatoria para el modelo), lo que une a un estudiante con el siguiente es una flecha identificada con el código del curso (identificación del modelo) y su dirección muestra quien infectó a quien. De la misma manera, pero en verde, se muestra el escenario real (para una realización) la red de contagios que involucra solo 2 cursos y 5 estudiantes. Se puede observar como un solo curso (código 539) es el espacio donde ocurrieron 3 infecciones ocasionadas por el estudiante No. 18743. En color rojo aparece una subred que pertenece también al escenario todo presencial sin vigilancia pero que involucra más de un curso. Se puede observar que aparecen los cursos 521, 523, 524 y 525, por mencionar algunos, en una cadena de contagios.

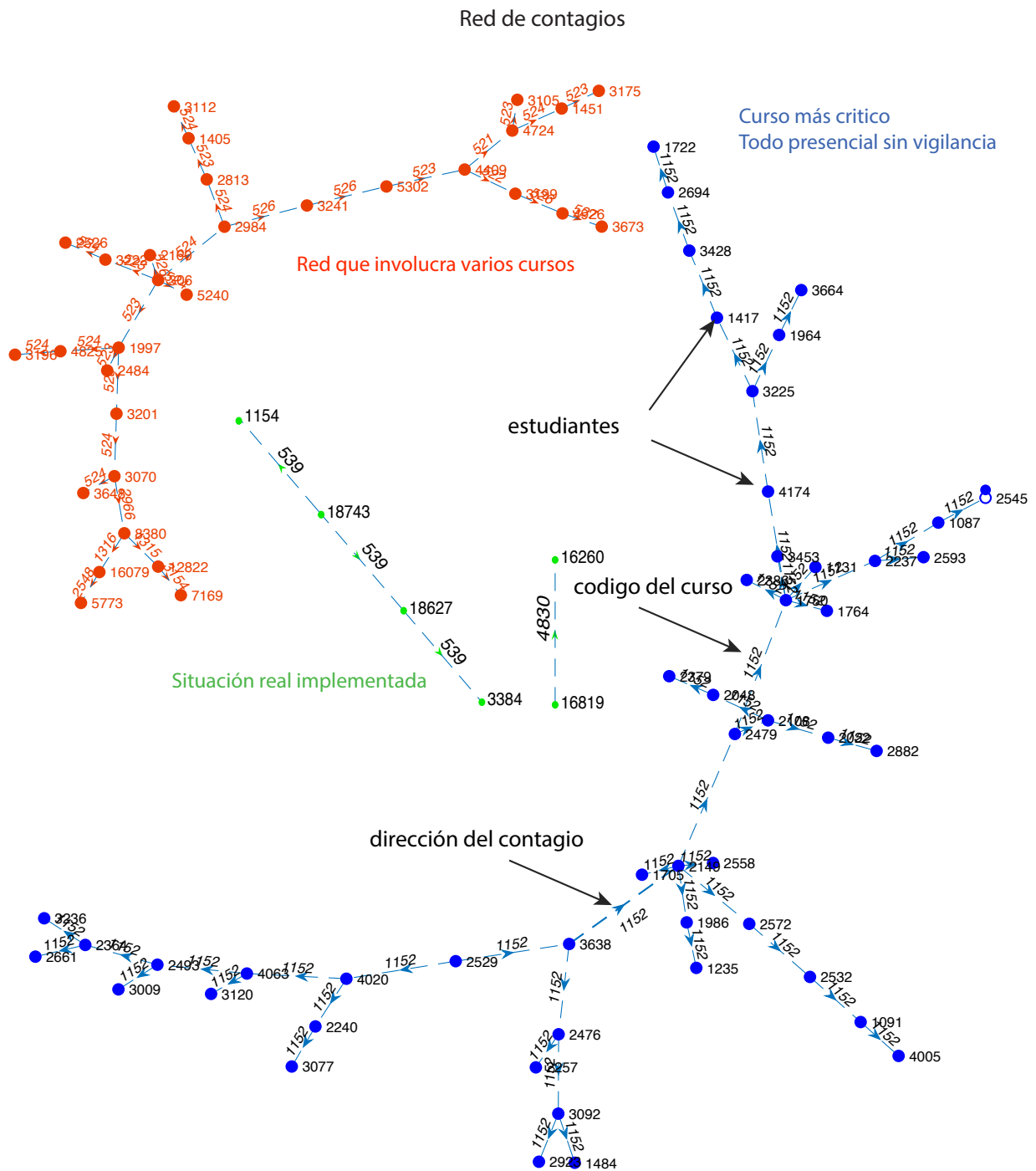


Figura 3. Red de contagios (tomada de una realización). Los puntos azules corresponden a estudiantes contagiados principalmente en el curso 1152 en el escenario todos los cursos presenciales sin vigilancia. Cada enlace corresponde al código del curso con la flecha que indica la dirección del contagio. Los puntos rojos corresponden a estudiantes contagiados en el escenario todos los cursos presenciales con vigilancia, pero con una red que involucra varios cursos (ver números en los enlaces). Los puntos verdes corresponden a estudiantes contagiados en el escenario real. Note que en el caso real solo dos cursos contribuyen a los contagios (539 y 4830).

Discusión

Los resultados nos permiten concluir que la virtualización de las clases propuesta permite prácticamente prevenir los contagios que se hubieran presentado en el campus en un escenario de presencialidad. Es claro que el impacto de la vigilancia en el número de casos es importante y hace pensar que sería posible operar el campus con una presencialidad mayor si se acompaña de estrategias de identificación y aislamiento de los casos. Una utilidad de este ejercicio radica en la posibilidad de detectar a priori cursos que podrían aportar en la red de contagios. Para el caso del semestre 2020-2 se encuentran solo dos cursos en las 5 realizaciones del escenario real resultaron con casos generados dentro del campus. Estos cursos son EPID5000 y DERE1132. De este resultado sorprendente (solo dos cursos de los 1058 semi-presenciales) se desprende un resultado poco intuitivo pero fácil de entender. Los cursos que participan en las redes de contagios son pocos, comparados con la oferta. La razón es clara: al haber pocos estudiantes infectados inicialmente (solo un grupo de 30 cursos tienen infectados al principio) la posibilidad que las infecciones en el periodo de tiempo considerado lleguen a muchos cursos de la Universidad es baja; las infecciones llegan a los cursos que están conectados directamente con los inicialmente infectados. En el escenario real, en el transcurso del semestre existe gente contagiada en el campus gracias a los contagios fuera de la universidad, pero el esquema no amplifica esta población infectada. Los dos cursos encontrados corresponden a la única realización de la 5 que produjo nuevas infecciones y estos dos cursos hacían parte del grupo de cursos con contagios iniciales (en las otras simulaciones los estudiantes infectados estaban en clases virtuales).

De las simulaciones sale un hallazgo bastante interesante: las redes de contagios que se observan al finalizar el periodo son fragmentadas en subredes que en ocasiones son dominadas por un solo curso, pero en otras participan varios. Este resultado contrasta con el sentido común que indica que la red de contagios fuera una sola, densa y altamente interconectada. Posiblemente de cada estudiante semilla (que parte con la infección desde el comienzo) se genera un árbol de contagios que principalmente crece en una clase que propicie altas densidades y largos periodos de tiempo. No corrimos simulaciones mas largas de 16 semanas, posiblemente en simulaciones mas largas las subredes empiecen a conectarse y para el final todo resulta en una sola red compacta. Esto sugiere que el rastreo es muy eficiente en prevenir contagios dado que toma tiempo que las pequeñas subredes se junten. Estas simulaciones también permiten identificar los cursos por los que posiblemente se expandiría la red de contagios.

En el proceso de construcción del modelo se producen observaciones interesantes. Por ejemplo, el ejercicio de capturar para cada estudiante su horario y crear un algoritmo que reproduce su jornada académica resulta en la posibilidad de establecer quien se encuentra con quien o que clases comparten estudiantes. Cuando uno revisa clase por clase y cuenta cuantos estudiantes comparte cada clase con cualquiera otra de la universidad surge una red donde cada nodo es una clase y cada enlace une clases que comparten estudiantes. El peso del enlace corresponde al número de estudiantes que comparten. Esto en teoría de grafos se conoce como el grado (*degree*) del nodo. De esta manera un curso no tan numeroso puede ser mas “peligroso” epidemiológicamente si se considera que esta conectado con muchos cursos. Si uno sienta una persona infectada en un curso con un degree alto, se espera que el curso genere mas contagios que ingresar a un estudiante en un curso menos conectado. Con esta línea de pensamiento uno podría pensar que construir este grafo y calcular el degree de cada nodo podría ser una manera eficiente de aproximarse a decidir que cursos son los que uno podría virtualizar o vigilar para prevenir contagios. Para investigar esto creamos una figura en la que se gráfica el degree del curso contra el aporte del curso a la red de contagios para los tres escenarios explorados (ver figura 4).

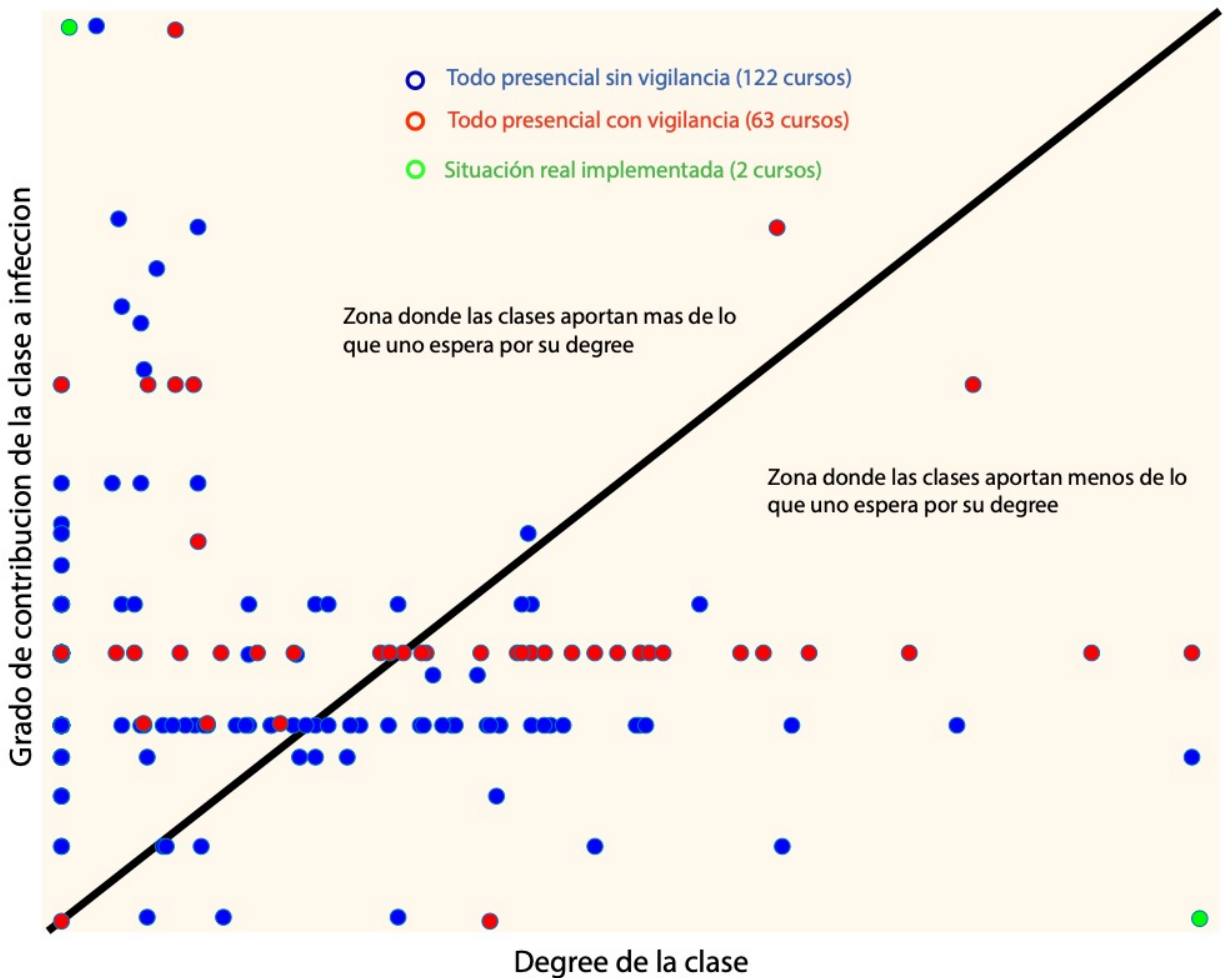


Figura 4. Relación entre el degree del curso y la participación del curso en la red de contagios. Los puntos azules corresponden a cursos en los que ocurrieron contagios en el escenario todos los cursos presenciales sin vigilancia. Los puntos rojos corresponden a cursos en los que ocurrieron contagios en el escenario todos los cursos presenciales con vigilancia. Los puntos verdes corresponden cursos en los que ocurrieron contagios en el escenario real. Note que en el caso real solo dos cursos contribuyen a los contagios y en caso todos presenciales sin vigilancia 122.

Es sorprendente encontrar que el degree no se correlaciona con el rol del curso. Una explicación para esto tiene que ver con lo expresado anteriormente y es el efecto de las condiciones iniciales. Para el periodo de tiempo estudiado los cursos que juegan un papel son los que empiezan con las infecciones mas allá de su degree o tamaño. Este resultado pone de manifiesto la importancia de la vigilancia. Detectar los casos antes de empezar las clases es más importante que virtualizar los cursos con alto degree.

Conclusiones

El esquema de virtualización propuesto para la universidad sugiere que habría muy pocos contagios originados por las clases con componente presencial. Los cursos riesgosos serian solo aquellos que reciban gente infectada el primer día.

Virtualizar el campus reduce las infecciones drásticamente. Se sugiere que un periodo de 8 semanas un campus presencial podría generar del orden de 350 contagios autóctonos (producidos en espacios de clase), el esquema propuesto se reduce a una decena.

La razón por la cual en el escenario real se producen pocos contagios en el campus es porque por azar solo algunos estudiantes infectados (proporcional a los valores de Bogotá) estarán matriculados en cursos semipresenciales y la mayoría en clases virtuales. Esto aclara el porque en 1150 clases semipresenciales solo 2 (en 5 realizaciones) contribuyeron a contagios.

En general, para un periodo de un semestre, con las medidas de protección y distanciamiento, *dada una cartelera con cursos presenciales* hay que tener cuidado es con establecer en el día cero quienes entran infectados, porque esos cursos son los que van a pertenecer a la red de contagios. En otras palabras, *el degree del curso no se puede usar como un mecanismo de identificación* a priori de cursos que requieran especial atención.

En contraste con el punto anterior, usar el degree como criterio para *escoger los cursos a virtualizar* es sensato en la medida que disminuye la fuerza de entrada del virus en el campus. Es decir, los contagios se deben dar en cursos menos conectados.

Los cursos identificados en estas simulaciones como problemáticos realmente no representan un peligro real, lo son en las simulaciones como consecuencia de que en ellos iniciaron los contagios por cuestiones de azar.