



Comunicación no verbal en el aula. Modelos de contagio social durante un examen en Enseñanza Secundaria

Non-Verbal Communication in the Classroom. Models of Social Contagion During an Exam in Secondary Education

Dr. José Arenas*, Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Málaga, 29071 Málaga (España) (josearenas@uma.es) (<https://orcid.org/0009-0006-5847-4112>)
Dr. Pedro Carpena, Departamento de Física Aplicada II e Instituto Carlos I de Física Teórica y Computacional, Universidad de Málaga, 29071 Málaga (España) (pjcarpena@uma.es) (<https://orcid.org/0000-0001-5568-0216>)

RESUMEN

En enseñanza secundaria los alumnos parecen entregar los exámenes formando agrupaciones (“clusters”) espacio-temporales, lo que sugiere la existencia de un contagio en la decisión de entregar la prueba. Con el objetivo de conocer nuevos ejemplos de comunicación no verbal en el aula y su posible influencia y mejora en el rendimiento del alumnado, se ha investigado el fenómeno tomando datos de 533 alumnos de dos centros educativos, pretendiendo comprobar si las entregas de exámenes siguen modelos conocidos de contagio. La metodología ha consistido en usar plantillas diseñadas para este estudio de forma que cada docente pudiera tomar datos de instantes de entrega de los exámenes realizados durante un curso escolar para comprobar, posteriormente, si la evolución de las entregas se asemeja a la curva de evolución temporal de Verhulst. Dicha curva se usa para modelar crecimiento de poblaciones con recursos limitados, contagio de enfermedades y evolución de epidemias (COVID19). Cuando todos los alumnos entregan su examen antes del tiempo límite, los resultados muestran que los datos experimentales se pueden reproducir con el modelo de contagio de Verhulst. Sin embargo, cuando muchos alumnos se ven forzados a entregar su examen por haber sobrepasado el tiempo límite, los datos no siguen modelos de contagio. En consecuencia, se puede concluir que, durante los exámenes, existe una comunicación no verbal entre los alumnos que genera comportamientos de imitación en la decisión de entregar sus pruebas si no están forzados por el tiempo límite. Dicho fenómeno puede deberse a varios factores de psicología social (efecto gregario, polarización de grupo, etc.) que podrían investigarse en nuevas vías de estudio, así como el posible efecto en el rendimiento del alumnado estableciendo grupos de control.

ABSTRACT

When middle and high school students take an exam, they seem to deliver their exams not independently, forming clusters both in time (the moment of delivery) and in space (the location in the classroom of the students of consecutive deliveries), thus suggesting the existence of a contagion effect among the students. We have investigated this example of non-verbal communication phenomenon which can affect the student's academic performance, by recording data of more than 500 students in two different high schools, to find out if the data are well fitted by known contagion models. Methodologically, we use appropriate templates to record the time of the exam delivery for the students of different classrooms in a whole academic year, and check later if these data can be described with the known Verhulst model, used to describe population growth with limited resources and the evolution of epidemics (such as COVID19). Our results show that the experimental data are well described by the Verhulst model when the limit of time for completing the exam does not affect the corresponding classroom, i.e., when all the students deliver in time. However, when the classroom is affected by the time limitations, the data are not well fitted by contagion models. Therefore, we can conclude that there exists a kind of non-verbal communication among students during an exam, leading to imitation behaviors when deciding the delivery of their tests if the limitation of time is not an issue. This phenomenon may be produced by different factors of social psychology (gregarious effect, group polarization, etc.) which could be the subject of future research, as well as the possible effect of this contagion on the academic performance of the students.

PALABRAS CLAVE | KEYWORDS

Análisis de interacción, comportamiento, psicología educativa, interacción social, sociología, análisis de cluster.
Interaction Analysis, Behavior, Educational Psychology, Social Interaction, Sociology, Cluster Analysis.

1. Introducción

El sistema educativo es objeto de continuos estudios desde diferentes perspectivas debido a su gran importancia, tanto en la sociedad, como en la evolución de la misma. Un ejemplo paradigmático es el estudio cuantitativo del fracaso escolar (Lozano Díaz, 2003), donde se analizan las posibles causas (personales, afectivas, familiares, etc.) relacionadas con este problema. Sin embargo, es poco frecuente el análisis cuantitativo de la dinámica de las interacciones entre los alumnos dentro del aula, especialmente durante el desarrollo de un examen (Arenas y Carpena, 2022). En una situación tan controlada como esta, se reduce al máximo la comunicación verbal entre los alumnos, pero sí puede existir comunicación no verbal que puede influir en la decisión de entregar un examen y, por tanto, en la calificación posterior. Al tratarse del estudio de un posible contagio del comportamiento humano, cabe la posibilidad de que se pueda explicar con modelos establecidos para el contagio de enfermedades o propagación de rumores ya que, matemáticamente hablando, podría haber similitudes entre estos fenómenos. Abordaremos esto de forma más precisa en la sección 2.2.

El objetivo de este trabajo es modelar las interacciones entre alumnos y comprobar si se asemeja a curvas de crecimiento de poblaciones y de contagio conocidas, que en este caso se trataría de un contagio social.

1.1. Antecedentes

La predicción del comportamiento de seres vivos en general, o de seres humanos en particular, que se comunican entre sí, y generan patrones de comportamiento colectivos, es estudiado por la emergente Sociofísica y, en el caso de grupos humanos, también por la psicología social.

En el caso de animales, tales como bandadas de pájaros o bancos de peces (flocking), existen trabajos que se basan en que los miembros del colectivo se comunican entre sí a corta distancia, generando comportamientos grupales complejos. Hay ejemplos con tratamiento estadístico en aves (Feder, 2007), o sobre el coste que supone volar en bandada debido a esa interacción subyacente (Usherwood et al., 2011).

Para el caso de grupos humanos, encontrar modelos que reproduzcan el comportamiento colectivo a partir de la comunicación o interacción entre sus miembros está aún en sus primeras fases, siendo el campo más activo el del movimiento de peatones (Castellano, Fortunato y Loreto, 2009). En el campo de la Educación y adolescencia podemos encontrar algunos estudios que analizan la relación entre las ubicaciones de los alumnos y la posibilidad de hacer trampas durante la realización de exámenes (Topîrceanu, 2017). En cuanto a la relaciones entre adolescentes y cómo se influyen en sus hábitos, existen análisis detallados basados en el estudio de redes sociales (Valente et al., 2013), y otros ejemplos relacionados con los componentes que influyen en conductas perjudiciales para la salud, como alcohol y tabaco (Fujimoto y Valente, 2012). También existen textos más extensos de referencia en la comunicación y propagación de opiniones, actitudes y comportamientos (Aral y Nicolaides, 2017).

Relacionado con la propagación de comportamientos a través de redes sociales también encontramos trabajos sobre defensa mediambiental y opinión pública (Barrios-O'Neill, 2021), rumores genéricos con el modelo SIR (Chang, 2023), o rumores médicos (Liao et al., 2023). También existen ejemplos sobre cómo afectan estos al uso de la información social desde una perspectiva eco-evolutiva (Suire et al., 2018).

Si nos referimos a contagio de conductas emocionales, encontramos trabajos que relacionan tanto a seres humanos como a animales. Algunos de ellos tratan la transmisión del estrés (Brandl et al., 2022), el contagio emocional y sus posibles consecuencias (Gallup, 2024), o el contagio social de conductas afiliativas de hembras de macaco (Ostner et al., 2021). En cuanto a formas de propagación de dichas emociones, tenemos ejemplos que estudian su transmisión de forma similar a las enfermedades infecciosas (Liu et al., 2025), y otros que las examinan desde el punto de vista del contagio de grupos online según su estatus (Kane et al., 2023).

Pero los ejemplos anteriores analizan, principalmente, la influencia de esta comunicación en colectivos de animales o seres humanos con relaciones de afectividad previas.

Desde el punto de vista de la psicología social o de masas, el efecto del grupo sobre el individuo (presión de grupo), o del individuo sobre el grupo (líderes) tanto en sus decisiones como en sus comportamientos, tiene varias vertientes, ya que el origen de que el comportamiento de un individuo obedezca a la influencia o comunicación con otro; ¿se basa en que ya tenía la intención previa de actuar así? o, por el contrario, ¿no tenía dicha actitud anterior? También existe la posibilidad de que dicho sujeto no tuviera intención de actuar en ningún sentido y su comportamiento final solo obedezca a una actitud de imitación, mimetismo, o necesidad de seguridad (efecto gregario). En el caso del primer conjunto de individuos, aquellos que ya tenían tal inclinación y el hecho de ejecutarla se acelera por la influencia del entorno, lo podríamos englobar en lo que se denomina polarización de grupo, con

ejemplos como redes sociales (Yardi y Boyd, 2010) o la deliberación de un jurado (Bray y Noble, 1978). En relación a los estudiantes, hay ejemplos de polarización de grupo y de líderes en actitudes de sentimientos de pertenencia a un grupo (Mackie, 1986).

Como aplicación de este campo al ámbito que nos ocupa, que es la intersección entre la comunicación no verbal y su influencia en los alumnos en su decisión de entregar un examen, estudiaremos si esta comunicación e influencia social, cuya existencia hemos demostrado en un trabajo anterior (Arenas y Carpena, 2022), y que depende de la distancia entre alumnos que entregan su prueba consecutivamente, obedece además en la dimensión temporal a modelos de contagio conocidos.

2. Metodología

Los datos recogidos para el análisis de evolución temporal en las entregas de los exámenes fueron recogidos en dos centros educativos, IES Monterroso (Estepona, Málaga) e IES Maimónides (Córdoba), y fueron recopilados durante la realización de exámenes de diversas materias y etapas educativas. En este trabajo presentamos los resultados correspondientes a 533 alumnos de 23 grupos-aula de Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO) y Bachillerato. Las materias en las que se recogieron datos fueron Matemáticas, Geografía e Historia, Física y Química, y Educación Física.

El protocolo de recogida de datos consistió en sentar a los alumnos, previamente al examen, por orden alfabético, con el objetivo de romper estructuras sociales previas. Además, no se tomaron nombres de los alumnos con el objetivo de respetar la ley de protección de datos, y tampoco se informó al alumnado de la investigación de campo para no contaminar el estudio. Una vez iniciada la prueba, se informaba al estudiantado del tiempo límite, y si este se cumplía, se comunicaba en voz alta y se daba un tiempo de entrega extra, típicamente dos o tres minutos.

2.1. Plantillas empleadas en el trabajo de campo

Para la toma de datos descrita en el apartado anterior, se facilitaban al profesorado plantillas en las que se debían anotar el orden de entrega, la posición del alumno en coordenadas cartesianas, el instante de entrega (en minutos) y la calificación del alumno (Figura 1).

Figura 1: Plantilla para la toma de datos en cada grupo.

GRUPO: _____ FECHA: _____ MATERIA: _____
 HORA INICIO: _____
 HORA LÍMITE: _____

PLANO GENERAL DE AULA DURANTE UN EXAMEN (35 mesas)

OBSERVACIONES

- El alumnado **no debe saber** que se están midiendo tiempos de entrega de exámenes ni el propósito que se está realizando. Dicha información condicionaría el instante de entrega e invalidaría la toma de datos y análisis posterior.
- Describir cualquier posible error o incidente que haya tenido lugar durante la toma de datos.

INCIDENCIAS: _____

FORMATO DE TOMA DE DATOS Y CUMPLIMENTACIÓN DE CASILLAS

Nº DE LISTA	HORA DE ENTREGA
ORDEN DE ENTREGA	NOTA DE EXAMEN

El diseño del método de recogida de datos debía ser riguroso pero sencillo, ya que el profesorado se podía ver inmerso en avalanchas de alumnos que entregan la prueba, y la toma de datos debía ser rápida pero minimizando errores. Así, los instantes de entrega se tomaban en minutos y no en segundos, ya que ello hubiera exigido más tiempo para anotar más cifras, además de que no todo el profesorado disponía de reloj digital o móvil en el aula. El motivo de que apareciera también en la plantilla el número de lista de cada estudiante era ofrecer la posibilidad de hacer verificaciones posteriores a la toma de datos, evitando así posibles errores. Una vez hechas las comprobaciones, dichas referencias identificativas no se tuvieron en cuenta en el análisis de datos ni en el presente trabajo.

2.2. Análisis de datos y modelo de contagio social

En un trabajo anterior (Arenas y Carpena, 2022) se demostró que existe un contagio con influencia espacial en la entrega de exámenes debido a una comunicación subyacente entre los alumnos, y que tal efecto es mayor entre alumnos adyacentes. En este trabajo, nuestro objetivo es realizar un análisis de la dimensión temporal de este fenómeno para comprobar si la evolución en las entregas de los alumnos, y sus posibles agrupaciones temporales, obedecen a alguna curva de contagio conocida. Si este fuera el caso (lo que correspondería a la existencia de contagio social), debería asemejarse en su descripción a las curvas de contagio de enfermedades (epidemias). Si esto es así, no solo se demostraría la hipótesis de un efecto contagio en la dimensión temporal, sino que también se modelaría el fenómeno, con las posibles implicaciones educativas que pudieran derivarse de ello.

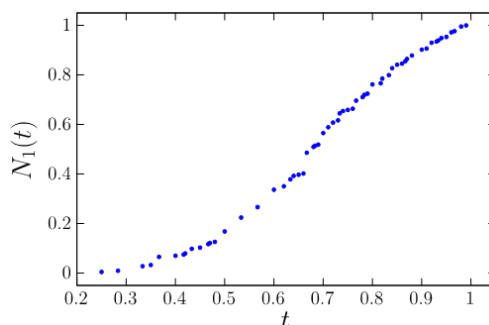
En el supuesto anterior, trataremos al alumnado como una población que evoluciona mediante contagio y sin vacunación, es decir, de forma que al final toda la población está «infectada» (en nuestro caso, que entrega su examen). En nuestro análisis, vamos a distribuir los datos disponibles en dos grupos; El Grupo 1 incluye los datos de las clases en las que todos los alumnos entregaron en tiempo permitido, mientras que el Grupo 2 incluye también el resto de clases, donde había entregas fuera del tiempo límite. De esta forma, se puede analizar la curva de evolución global de ambos colectivos con mayor robustez y fiabilidad estadística que si se estudiaran en clases individuales, ya que la muestra es mayor. Vamos a considerar como indicador de la evolución temporal de las entregas de examen la función $N(t)$, cuyo valor corresponde al número de alumnos que han entregado su examen en el instante t . Ambas magnitudes, $N(t)$ y el propio tiempo de entrega t , han sido convenientemente normalizadas tanto en el Grupo 1 como en el Grupo 2 para poder agrupar los datos correctamente. En concreto, el valor individual de t , para cada alumno, se obtiene dividiendo su tiempo de entrega real (en minutos) entre la duración permitida para su examen. De esta forma, valores de t menores que la unidad corresponden a alumnos que entregan dentro de tiempo permitido, y valores de t mayores que uno, a alumnos que entregan fuera de tiempo. En cuanto al valor de $N(t)$, la normalización en los datos del Grupo 1 y del Grupo 2 consiste en dividir el número de entregas hasta el instante t entre el número total de alumnos que entregan el examen en cada Grupo. De esta forma, el valor máximo de $N(t)$ es la unidad en ambos casos. En lo sucesivo, denominaremos $N_1(t)$ y $N_2(t)$ a los valores experimentales de $N(t)$ para el Grupo 1 y el Grupo 2, respectivamente.

A la hora de buscar modelos de contagio ampliamente utilizados, pensamos que la ecuación de Verhulst (Verhulst, 1838), en una primera aproximación al fenómeno, podría reproducir la dinámica del Grupo 1. Este modelo se popularizó en 1976 (May, 1976) como contrapartida al modelo de Malthus (Malthus, 2001), denominado como «catastrofista» y que predecía un crecimiento exponencial de poblaciones. La ecuación de Verhulst ofrece un modelo no catastrofista ya que entiende que aparecen mecanismos naturales de ajuste al crecimiento. Esta ecuación puede predecir evoluciones inesperadas de poblaciones con gran sensibilidad a las condiciones iniciales (en nuestro caso, el número de alumnos inicial y el tiempo permitido), tratándose de sistemas potencialmente caóticos en algunos casos si la tasa de crecimiento es elevada. Este modelo generalista ha explicado adecuadamente la propagación del COVID-19 (Fernández-Martínez et al., 2021), el crecimiento de poblaciones (Morales-Erosa et al., 2023) y la difusión de rumores (Yin y Muhammadhaji, 2024). Así, este modelo, aunque pueda sufrir variaciones específicas según el campo en que se aplique o los parámetros intervinientes en cada fenómeno, será útil para demostrar si la sucesión de tiempos de entrega de exámenes se asemeja a fenómenos de contagio conocidos. Señalamos, además, que si la curva experimental de entregas de exámenes, dada por $N(t)$, se ajustara con precisión al modelo de Verhulst, demostraría, a su vez, una intensa comunicación no verbal entre alumnos que influye en su decisión de entregar la prueba,

ya que de lo contrario, las entregas producidas sin contagio social, y por tanto aleatorias, contaminarían excesivamente la evolución de la curva y no se ajustaría al modelo que proponemos.

En la Figura 2 presentamos valores experimentales de $N_1(t)$, es decir, el número normalizado entregas de exámenes hasta el instante t para el Grupo 1 (de 214 alumnos).

Figura 2: Datos experimentales de exámenes entregados del Grupo 1 ($N_1(t)$), en función del tiempo (t).



Según nuestra hipótesis de que la interacción entre alumnos debe corresponder a un modelo de crecimiento de poblaciones y propagación de epidemias, la evolución dinámica experimental debería aproximarse a la curva de Verhulst (también conocida como función logística):

$$N_V(t) = \frac{K}{1 + Ae^{-rt}}$$

Los parámetros del modelo son los siguientes: r es la tasa de crecimiento, y corresponde a un número positivo que, cuanto mayor sea, más rápidamente crece la curva al principio; K es la capacidad de carga y corresponde al valor asintótico de la población descrita por la curva de Verhulst, que en nuestro caso corresponde al número de alumnos que han entregado el examen cuando el tiempo tiene a infinito. Puesto que nuestros datos están normalizados, vamos a considerar que $K=1$; finalmente, A es un número real, cuyo valor, junto con K , controla la población inicial para $t=0$. Así, aplicamos un método de regresión no lineal para comprobar si los datos representados en la Figura 2 se asemejan a la curva generada por la ecuación logística. Con este método buscamos, por tanto, comprobar que ambas magnitudes (tiempos de entrega de entrega y número de alumnos que han entregado en un tiempo determinado) están relacionadas entre sí. Puesto que consideramos $K = 1$, el ajuste determinará los parámetros A y r .

La ecuación resultante del ajuste es:

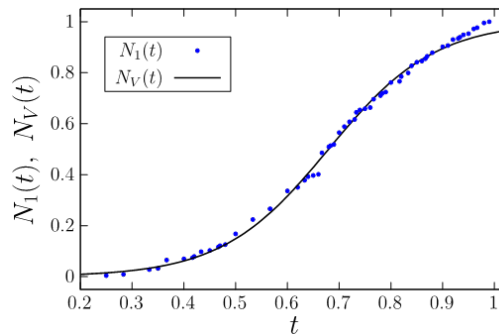
$$N_V(t) = \frac{1}{1 + 740e^{-9,7t}} \quad (1)$$

y los intervalos de error de los parámetros del ajuste son $A = 740 \pm 70$ y $r = 9,7 \pm 0,1$. Puesto que las variables $N_V(t)$ y t están normalizadas, ambos parámetros, A y r , son adimensionales. En la Figura 3, mostramos el ajuste dado por la Ecuación (1) junto con los datos experimentales. El coeficiente de determinación, que mide la relación entre las dos variables comentadas, es $R^2 = 0,9968$, lo que indica que el modelo explica muy bien la variabilidad de los datos, puesto que el ajuste perfecto correspondería a $R^2 = 1$. Así, la evolución dinámica de las entregas de exámenes en grupos contaminados mínimamente por el tiempo límite puede ser explicado por modelos de propagación de epidemias, lo que encaja con nuestra hipótesis de que el contagio social puede ser descrito por modelos conocidos de contagio.

Como información extra del modelo, podemos calcular en qué instante se da el punto de inflexión en el crecimiento, que debe corresponder el momento en que han entregado su prueba la mitad del alumnado. Así, haciendo $N_V = 1/2$ en la ecuación (1), y despejando el tiempo correspondiente, obtenemos que dicho instante es 0,681, es decir, cuando ha transcurrido, aproximadamente, $2/3$ del tiempo permitido (unos cuarenta minutos si hablamos de exámenes típicos de una hora de duración). A partir de ese momento el ritmo de las entregas de las pruebas comienza a decrecer. Manteniendo el paralelismo con las características de una

epidemia, correspondería al umbral en que el número de infectados supera al de no infectados. También podemos comprobar que para tiempos «infinitos», debe haber entregado el 100% del alumnado ($N_V = K = 1$).

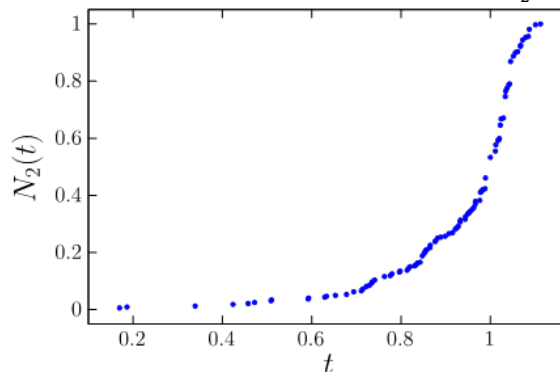
Figura 3: Ajuste de los datos experimentales $N_1(t)$ a la curva de Verhulst, $N_V(t)$.



En el caso del Grupo 2, que incluye también a las clases en las que hay entregas fuera del tiempo permitido, cabe esperar una evolución temporal distinta de las entregas de examen, porque muchas de ellas están forzadas por el tiempo límite, y este efecto debe enmascarar al contagio social puro que hemos observado en el Grupo 1.

La forma distinta de la sucesión temporal de entregas del Grupo 2 con respecto al Grupo 1 se aprecia en la Figura 4, en la que mostramos los valores experimentales del número normalizado de entregas de examen hasta el instante t para el Grupo 2, $N_2(t)$. En este caso, el número total de alumnos considerado es de 533. Con la normalización comentada anteriormente, el valor $t=1$ corresponde al tiempo límite del examen, por lo que, a diferencia del Grupo 1, podemos observar en la Figura 4 que en el Grupo 2 hay entregas de examen para valores de t mayores que 1, es decir, por encima del tiempo límite

Figura 4: Datos experimentales de exámenes entregados del Grupo 2 ($N_2(t)$), en función del tiempo (t).

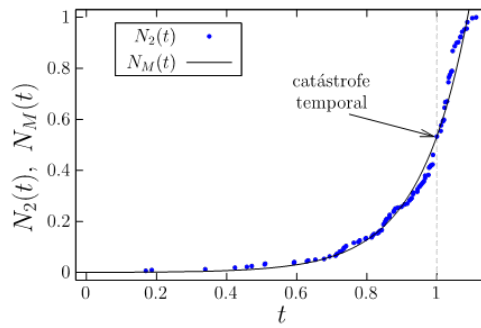


Es evidente que para el Grupo 2 (con 319 alumnos más que el Grupo 1), el perfil de los datos experimentales es distinto a los del Grupo 1 debido a que la dinámica de entregas está muy afectada por la presión que causa el tiempo límite. Por lo tanto, los datos no se ajustan adecuadamente al modelo del Verhulst. Sin embargo, los datos del Grupo 2 sí se pueden describir por el modelo de Malthus que, como ya comentamos, predice un crecimiento exponencial de poblaciones. Tal modelo adopta la siguiente expresión:

$$N_M(t) = N_0 e^{rt}$$

donde N_0 corresponde a la población inicial y r a la tasa de crecimiento. Por lo tanto, podemos realizar un ajuste de los datos experimentales $N_2(t)$ al modelo de Malthus, y el resultado se muestra en la Figura 5.

Figura 5: Ajuste de los datos experimentales $N_2(t)$ a la curva de Malthus, $N_M(t)$.



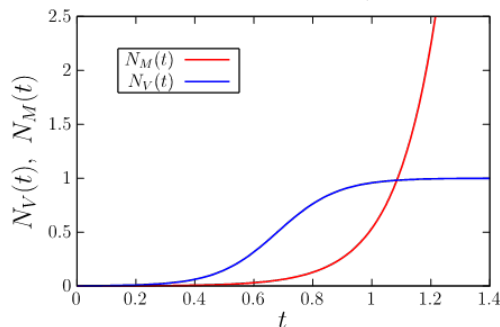
La ecuación resultante del ajuste es:

$$N_M(t) = 4,1 \cdot 10^{-4} e^{7,2t}$$

Los parámetros resultantes del ajuste, junto con sus intervalos de error correspondientes, son $N_0 = (4,1 \pm 0,6) \times 10^{-4}$ y $r = 7,2 \pm 0,2$. Al igual que en el ajuste anterior, los parámetros también son adimensionales. El coeficiente de determinación es $R^2 = 0,978$, con lo que parece que el modelo de Malthus reproduce adecuadamente el comportamiento del Grupo 2. Como era de suponer, la imposición de un tiempo límite demasiado breve para la realización del examen produce entregas forzadas. Ello rompe estructuras de interacción entre los alumnos y evita el contagio entre los mismos, que ya no entregan la prueba por libremente. Por lo tanto, es razonable que en este caso los datos experimentales no se ajusten a un modelo de contagio.

Observamos que en la Figura 5 hemos denominado al umbral $t = 1$ como catástrofe temporal, ya que corresponde el momento en que el alumno es forzado a entregar su examen. Vemos también que en este caso el ritmo de entregas es siempre creciente. El hecho de que el comportamiento de los alumnos se corresponda con uno u otro modelo (Verhulst o Malthus) depende de que el docente o el centro establezcan tiempos adecuados para la realización de los exámenes, o bien de que planifiquen exámenes adecuados al tiempo disponible para la prueba. Cuando los tiempos son adecuados, el comportamiento de alumnado está bien descrito por el modelo de Verhulst, y por el el Malthus en caso contrario. Podemos comparar el evolución dinámica de ambos modelos en la Figura 6, donde hemos usados los valores de los parámetros obtenidos en los ajustes presentados en las Figuras 3 y 5.

Figura 6: Comparativa entre el modelo de Verhulst, $N_V(t)$, y el modelo de Malthus, $N_M(t)$.



En la Figura 6 podemos observar algo notable: mientras que en el modelo de Verhulst, la mitad del alumnado ($N=0,5$) ha entregado cuando han transcurrido, aproximadamente, $2/3$ del tiempo permitido para la prueba, en el modelo de Malthus, la cifra de alumnado que ha entregado se acerca a $0,5$ en las inmediaciones de $t = 1$, es decir, cuando se cumple el tiempo límite. Ello es consistente con la dinámica autorregulada de las entregas en clases en que el límite temporal no es un factor de presión (modelo de

contagio de Verhulst), y también con la dinámica de crecimiento descontrolado en clases en que el factor tiempo contamina el fenómeno (modelo catastrofista de Malthus).

3. Discusión de resultados

Tras el análisis de datos de 533 alumnos de ESO y Bachillerato, se ha comprobado que las dinámicas se pueden explicar por el modelo de Verhulst, en el Grupo 1, y por el modelo de Malthus en el Grupo 2. El primero es consistente con la minimización del factor limitante del tiempo y con el trabajo previo de Arenas y Carpena (2022) en que se demostraba un contagio social dependiente de la distancia (más intenso cuanto más cerca de un alumno determinado se encuentre el último que ha entregado su prueba). En dicho trabajo previo se demostró que la probabilidad de que un alumno que entrega su examen, contagie a otro adyacente y este también entregue el suyo, es de $1/6$.

El modelo que reproduce la evolución temporal de las entregas depende de si el tiempo que marca la duración del examen es el adecuado para la prueba: cuando el tiempo de duración del examen está bien planteado, los datos se ajustan al modelo de Verhulst, que predice que un 50% de alumnos han entregado su examen antes de que se cumplan dos tercios del tiempo disponible, lo cual parece bastante razonable. Sin embargo, cuando el tiempo de duración del examen es demasiado corto, los datos experimentales se ajustan al modelo de Malthus, para el que el 50% de las entregas ocurre ya en las inmediaciones del tiempo límite.

Si analizamos el comportamiento de ambos modelos, podemos observar que en el Verhulst hay dos puntos de equilibrio, que son el número inicial de alumnos que han entregado ($N=0$) y el número total de alumnos que han entregado cuando la curva comienza a estabilizarse (todos los alumnos, esto es, $N=1$). Así, el primer punto de equilibrio es un repulsor y el segundo un atractor, ya que cualquier perturbación de la situación inicial hace que el sistema se dirija hacia el segundo punto de equilibrio. En cambio, en el modelo de Malthus el sistema no tiende hacia ningún punto de equilibrio cuando se parte de la situación inicial. Ambas situaciones pueden observarse en la Figura 6. Podemos interpretar que el modelo de Verhulst se ajustaría aún más a los datos experimentales en una situación de examen sin límite de tiempo, caso en que la comunicación no verbal tendría su máximo efecto en la propagación del comportamiento de los alumnos, ya que el factor contaminante del tiempo desaparecería por completo. Esta podría ser una futura línea de investigación.

4. Conclusiones

En este trabajo hemos demostrado que, cuando la duración de un examen no es de gran influencia, la dinámica de entregas del mismo puede ser explicada por un modelo de contagio de epidemias o propagación de rumores (modelo de Verhulst), lo que demuestra que existe una comunicación no verbal entre los alumnos que influye en su decisión de entregar su prueba. Este ejemplo puede ser importante no solo como otro caso de fenómeno de contagio social en comportamientos colectivos, sino por sus derivadas educativas, ya que en las situaciones en las que este modelo no explica la variabilidad de los datos, nuestros resultados indican que se debe a un tiempo inadecuado para la realización de la prueba. Así, dada su importancia en Educación, deberían abrirse vías de investigación con trabajos de campo en los que no se permita que los alumnos entreguen libremente su examen (anulando el contagio social), para comprobar de tal forma si dicha interacción o la ausencia de la misma afecta o no a las calificaciones. Si no afectara a las puntuaciones de las pruebas, se desprendería que el fenómeno quedaría explicado por la polarización de grupo (el alumno ya tiene la inclinación de entregar su prueba, pero no ejecuta dicha acción hasta que otro hace lo propio).

Por otro lado, de los 533 alumnos considerados en este trabajo, solo entregaron su prueba antes del tiempo límite de la misma alrededor de un 50%, lo que también debe ser revisado por el sistema educativo, ya que su efecto negativo en el rendimiento académico podría ser muy significativo.

Según los resultados, pensamos que en los protocolos de los exámenes en enseñanza secundaria debería incluirse una regla que impida que los alumnos entreguen la prueba antes del tiempo límite, evitando así la comunicación y presión de entregar la prueba entre los propios estudiantes, asumiendo que la consecuencia de tal efecto, como mínimo, no será positiva en los resultados académicos. Además, en vista de la cantidad de alumnado que entrega su prueba después del tiempo límite, se sugiere una mejor relación entre la duración de la prueba y su extensión/dificultad. Todo ello podría tener una influencia significativa en las calificaciones de los exámenes.

Este modelo de contagio social podría emplearse para reproducir y predecir otras actividades grupales sujetas a influencia social tales como pujas en subastas, votaciones a mano alzada, etc.

Apoyos

Esta investigación ha sido apoyada por la Junta de Andalucía mediante un proyecto de investigación educativa que amparó la toma de datos en las aulas (PIV-011/16), y a través de la financiación del grupo de investigación FQM-362 de la Universidad de Málaga en que se enmarca este trabajo.

Referencias

- Aral, S., & Nicolaides, C. (2017). Exercise Contagion in a Global Social Network. *Nature Communications*, 8, 14753
- Arenas, J. J. y Carpena, P. (2022). An Example of Social Interaction: Spatial Contagion Effect in Exams. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 603, 127666. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.127666>
- Barrios-O'Neill, D. (2021). Focus and social contagion of environmental organization advocacy on Twitter. *Conservation Biology*, 35(1), 307-315. <https://doi.org/10.1111/cobi.13564>
- Brandl, H. B., Pruessner, J. C., & Farine, D. R. (2022). The social transmission of stress in animal collectives. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 289(1974), 20212158. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2158>
- Bray, R. M. y Noble, A. M. (1978). Authoritarianism and Decisions of Mock Juries: Evidence of Jury Bias and Group Polarization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 36(12), 1424-1430. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.36.12.1424>
- Castellano, C., Fortunato, S. y Loreto, V. (2009). Statistical Physics of Social Dynamics. *Reviews of Modern Physics*, 81(2), 591-646. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.81.591>
- Chang, X. (2023). Study on an SIR rumor propagation model with an interaction mechanism on WeChat networks. *Frontiers in Physics*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.1089536>
- Feder, T. (2007). Statistical Physics is for the Birds. *Physics Today*, 60(10), 28-30. <https://doi.org/10.1063/1.2800090>
- Fernández-Martínez, J. L., Fernández-Muñiz, Z., Cernea, A. y Kloczowski, A. (2021). Predictive Mathematical Models of the Short-Term and Long-Term Growth of the COVID-19 Pandemic. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2021(1), 5556433. <https://doi.org/10.1155/2021/5556433>
- Fujimoto, K. y Valente, T. W. (2012). Decomposing the Components of Friendship and Friends' Influence on Adolescent Drinking and Smoking. *Journal of Adolescent Health*, 51(2), 136-143. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2011.11.013>
- Gallup, A. C. (2024). Emotional Contagion in Animals: Connections and Applications. *Animals*, 14(20).
- Kane, A. A., van Swol, L. M., & Sarmiento-Lawrence, I. G. (2023). Emotional contagion in online groups as a function of valence and status. *Computers in Human Behavior*, 139, 107543. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107543>
- Liao, C. N., Chen, Y. J., & Chen, V. (2023). Spread and control of medical rumors in a social network: A generalized diffusion model with a highly asymmetric network structure. *Production and Operations Management*, 32(11), 3683-3698. <https://doi.org/10.1111/poms.14057>
- Liu, H., Zhang, D., Zhu, Y., Ma, H., & Xiao, H. (2025). Emotions spread like contagious diseases. *Frontiers in Psychology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1493512>
- Lozano Díaz, A. (2003). Factores personales, familiares y académicos que afectan al fracaso escolar en la Educación Secundaria. *Revista Electrónica de Investigación Psicoeducativa y Psicopedagógica*, 1(1), 43-66. <https://doi.org/10.25115/ejrep.1.101>
- Mackie, D. M. (1986). Social Identification Effects in Group Polarization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 50(4), 720-728. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.50.4.720>
- Malthus, T. (2001). Malthus, T. (1798, 1985) An Essay on the Principle of Population: Thomas Malthus, 1766-1834. En G. D. Smith, D. Dorling, y M. Shaw (Eds.), *Poverty, Inequality and Health in Britain: 1800-2000: A Reader* (pp. 13-22). Policy Press. <https://doi.org/10.56687/9781447342175-007>
- May, R. M. (1976). Simple Mathematical Models with Very Complicated Dynamics. *Nature*, 261(5560), 459-467. <https://doi.org/10.1038/261459a0>
- Morales-Erosa, A. J., Reyes-Reyes, J., Astorga-Zaragoza, C. M., Osorio-Gordillo, G. L., García-Beltrán, C. D. y Madrigal-Espinosa, G. (2023). Growth Modeling Approach With the Verhulst Coexistence Dynamic Properties for Regulation Purposes. *Theory in Biosciences*, 142(3), 221-234. <https://doi.org/10.1007/s12064-023-00397-x>
- Ostner, J., Wilken, J., & Schülke, O. (2021). Social contagion of affiliation in female macaques. *Royal Society Open Science*, 8(1), 201538. <https://doi.org/10.1098/rsos.201538>
- Suire, A., & van Baalen, M. (2018). Rumour propagation and the eco-evolutionary dynamics of social information use. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1875), 20180088. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0088>
- Topîrceanu, A. (2017). Breaking Up Friendships in Exams: A Case Study for Minimizing Student Cheating in Higher Education Using Social Network Analysis. *Computers & Education*, 115, 171-187. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.08.008>
- Usherwood, J. R., Stavrou, M., Lowe, J. C., Roskilly, K. y Wilson, A. M. (2011). Flying in a Flock Comes at a Cost in Pigeons. *Nature*, 474(7352), 494-497. <https://doi.org/10.1038/nature10164>
- Valente, T. W., Fujimoto, K., Unger, J. B., Soto, D. W. y Meeker, D. (2013). Variations in Network Boundary and Type: A Study of Adolescent Peer Influences. *Social Networks*, 35(3), 309-316. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2013.02.008>
- Verhulst, P.-F. (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondence Mathématique et Physique (Ghent)*, 10, 113-129.
- Yardi, S. y Boyd, D. (2010). Dynamic Debates: An Analysis of Group Polarization Over Time on Twitter. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 30(5), 316-327. <https://doi.org/10.1177/0270467610380011>
- Yin, R. y Muhammadhaji, A. (2024). Dynamics in a Delayed Rumor Propagation Model with Logistic Growth and Saturation Incidence. *AIMS Mathematics*, 9(2), 4962-4989. <https://doi.org/10.3934/math.2024241>