



Desarrollo y combate de una infección Zombie, y... algo más.

Autor/res/ras: Juan Manuel Espín López, Francisco Esquembre Martínez, Alejandro Huertas López, Paula Juárez Muñoz, María Luz López Morales, Ángel Pina Canelles.

Institución u Organismo al que pertenecen: Facultad de Matemáticas, Universidad de Murcia

Indique uno o varios de los seis temas de Interés: (Marque con una {x})

{ } Enseñanza bilingüe e internacionalización

{ } Movilidad, equipos colaborativos y sistemas de coordinación

{x} Experiencias de innovación apoyadas en el uso de TIC. Nuevos escenarios tecnológicos para la enseñanza y el aprendizaje.

{x} Nuevos modelos de enseñanza y metodologías innovadoras. Experiencias de aprendizaje flexible. Acción tutorial.

{ } Organización escolar. Atención a la diversidad.

{ } Políticas educativas y reformas en enseñanza superior. Sistemas de evaluación. Calidad y docencia.

Idioma en el que se va a realizar la defensa: (Marque con una {x})

{x} Español { } Inglés

Resumen.

En esta comunicación presentamos una experiencia innovadora para el Grado de Matemáticas de la Universidad de Murcia. Un grupo de alumnos debió, en primer lugar, elaborar un proyecto de investigación como parte de la asignatura “Laboratorio de Modelización” del tercer curso. El objeto del trabajo, “Desarrollo y combate de una infección Zombie”, y su profundidad fue determinado por los propios alumnos, que debieron usar las TIC para crear simulaciones por ordenador que apoyaran el estudio. A continuación, los alumnos deben convertir dicho trabajo en un resultado de investigación y someterlo a publicación en una revista profesional, así como presentarlo y defenderlo en un congreso o conferencia adecuado. La labor de selección de la revista y la conferencia, así como la preparación de los trabajos y su remisión y defensa es responsabilidad de los propios alumnos. Esta experiencia presenta un enfoque innovador en nuestra Facultad, no sólo porque adopta el esquema de “Enseñanza Basada en Proyectos”, sino porque se extiende más allá de una asignatura, e incluso del término temporal de un curso académico, para intentar alcanzar competencias transversales del Grado en Matemáticas en su conjunto e introducir a los alumnos en el ejercicio profesional de un investigador en Matemáticas.

Palabras Claves

Zombies, modelo matemático, enfermedades, estudiantes, TIC, innovación.

Abstract

In this paper we present an innovative experience for the Bachelor's Degree in Mathematics, University of Murcia. A group of students had to, first of all, develop a research project as part of the course "Laboratorio de Modelización" from the third year. The objective of the task, "Development and combat of a Zombie infection", and its depth was determined by the students, who had to use TIC to create computer simulations which helped their study. Next, students should turn their work into a research result and submit it for publication in a professional journal, as well as present and defend it at a proper congress or conference. The responsibility of choosing the journal and conference, as well as the preparation of the work and its defense lies with the students. This experience presents an innovative approach in our faculty, not only because it adopts the scheme of "Projects Based Learning", but also because it extends beyond a subject, and even the temporary end of an academic year, to try to reach transversal skills of the Degree in Mathematics and introduce students to the practice of a mathematic researcher.

Keywords

Zombies, mathematical model, diseases, students, TIC, innovation.

Texto.

1. Introducción

De acuerdo con la Memoria del Grado en Matemáticas de la Universidad de Murcia (2009, Guía de la titulación de Matemáticas):

El perfil de un graduado en Matemáticas es el de un profesional preparado para la investigación, la enseñanza de las Matemáticas, y su aplicación en la industria, empresa y administración. Además el Grado capacita para la modelización matemática, análisis, resolución y, en su caso, implementación informática, de problemas en diversos campos de las ciencias básicas, sociales, de la salud y de la vida, de la ingeniería, finanzas, consultoría, etc.

En este mismo documento, se incluyen como competencias específicas del título en Matemáticas las siguientes:

CGM7 : Proponer, analizar, validar e interpretar modelos de situaciones reales sencillas, utilizando las herramientas matemáticas más adecuadas a los fines que se persigan.

CGM 9 Desarrollar programas que resuelvan problemas matemáticos utilizando para cada caso el entorno computacional adecuado.

CGM 10 Utilizar herramientas de búsqueda de recursos bibliográficos.

CGM 11 Comunicar, tanto por escrito como de forma oral, conocimientos,



procedimientos, resultados e ideas matemáticas.

Además, la Universidad de Murcia incluye, entre sus competencias transversales, aplicables a todas sus titulaciones, las siguientes:

CTUMU6 Ser capaz de trabajar en equipo y relacionarse con otras personas del ámbito de la Matemática o cualquier otro ámbito.

CTUMU7 Desarrollar habilidades de iniciación a la investigación.

Como puede verse, los objetivos de la formación de un Graduado en Matemáticas son bastante ambiciosos y deben compaginarse con el estudio de los resultados clásicos de la disciplina. A este fin, la docencia de las asignaturas del grado más tradicionales incluyen, en pequeñas dosis - por así decirlo-, actividades conducentes a obtener dichas competencias. Pero, además, el Grado incluye dos asignaturas, que no existían en el anterior plan de estudios, especialmente indicadas para cubrir estos objetivos: la asignatura de “Laboratorio de Modelización”, que se cursa en el tercer año del Grado (Guía docente de la Asignatura Modelización), y el conocido “Trabajo Fin de Grado” (TFG), común a todos los títulos de este nivel.

La carrera de todo investigador en matemáticas (y científico en general) incluye la preparación de artículos de investigación para su publicación en revistas profesionales, así como la impartición de ponencias o conferencias en congresos de la disciplina. Estas actividades le permiten dar a conocer su trabajo y a sí mismo en el área intelectual al que pertenece (o desea pertenecer). Esta presentación recoge una experiencia que comienza precisamente con la asignatura de Laboratorio de Modelización y se desarrolla antes de que los alumnos se enfrenten al TFG con el objetivo de ampliar la formación reglada tradicional para profundizar en las competencias profesionales de un matemático.

Por ello, los coautores, un grupo de estudiantes del grado en matemáticas, aceptamos voluntariamente someternos a la experiencia que describimos aquí y que debe llevarnos a lo que podríamos llamar nuestra primera publicación y nuestra primera ponencia en un congreso. La experiencia consiste en el ejercicio de transformar un proyecto de clase en un artículo apto para su publicación en una revista científica, por un lado. Y, por otro, en presentar una comunicación en un congreso, de nivel universitario, al que asisten personas no necesariamente del campo de las matemáticas. Y ello, sin dejar de lado el contenido del trabajo, que queremos dar a conocer.

2. Planteamiento y resumen del trabajo

En la asignatura de Laboratorio de Modelización se busca que el alumno adquiera la capacidad de afrontar un problema de otras ciencias, modelizarlo con técnicas matemáticas, dar una solución aproximada, contrastarla e interpretarla.

La asignatura utiliza un enfoque de “Enseñanza Basada en Proyectos” (Wikipedia, 2014) (*Larmer y Mergendoller, 2010*) para motivar a los alumnos y alcanzar algunas de las competencias transversales indicadas en la introducción. Para ello, contempla

la realización de proyectos individuales (más sencillos) y en grupo (más elaborados), en los que los alumnos tienen cierta capacidad de decisión para determinar, con el acuerdo de los profesores, tanto el fenómeno a modelar matemáticamente, como el enfoque y profundidad del estudio (. En todos los casos, los alumnos deben utilizar simulaciones por ordenador, basadas en modelos matemáticos discretos o continuos (que hacen uso de ecuaciones diferenciales ordinarias), creadas por ellos mismos, para apoyar los estudios realizados (Departamento de Matemáticas, 2013).

Y aquí es donde comienza nuestra andadura. Usando esta libertad de elección, decidimos elaborar un modelo que analizase el desarrollo de enfermedades infecciosas, centrandó nuestro interés en un tema muy popular hoy día: los zombies. Elegimos este tema porque nos motivaba especialmente por motivos lúdicos. Los profesores de la asignatura dieron el visto bueno a nuestra decisión, viendo factible, e incluso sensato, el adecuar un trabajo a aquello que más nos motivaba. Como resultado, el trabajo fue un rotundo éxito, tanto para nuestros compañeros como para nuestros tutores, los cuales nos animaron a que publicásemos el informe del proyecto. Así es como comenzó todo, bajo la tutela del profesor Francisco Esquembre, comenzamos a buscar revistas donde publicar nuestro trabajo y conferencias donde exponerlo, adaptando en cada caso nuestro contenido a la temática y enfoques correspondientes.

Este proceso, relativamente arduo y en el que todavía estamos inmersos, lo estamos desarrollando de manera paralela a la presentación que hacemos en este congreso de dicho trabajo y a nuestra visión de la experiencia en su conjunto. Esta labor, la de comunicar nuestro trabajo en un lenguaje asequible tanto a matemáticos como a expertos de otras disciplinas, es asimismo una de las competencias que debe alcanzar un matemático y que nos fue planteada por el profesor como parte de la experiencia. Por ello, la presentación que se hace en este congreso supone el acto final de esta parte de la misma.

3. Una de Zombies

Los zombies son una figura popular que está alcanzando una inmensa fama en la actualidad gracias a una gran cantidad de series, películas, videojuegos, libros y cómics basados en ésta temática post-apocalíptica. En nuestro trabajo para la asignatura de Laboratorio de Modelización detallamos el desarrollo y evolución de un ataque zombie, basando todas nuestras suposiciones en la ingente cantidad de referencias de las que disponemos sobre dicha temática. (Filmografía y literatura).

Con ello, intentamos dar una “explicación matemática” a este universo, tratando de predecir las circunstancias que darían lugar a dichas situaciones y su desenlace. Usamos como guía básica el artículo de investigación “When Zombies attack!” (Munz, Hubea, Imad y Smith, 2009), cambiando desde un principio el planteamiento del modelo.

Con el objetivo anterior, fuimos desarrollando diversos modelos fundamentados en la dinámica de poblaciones Malthusiana (Malthus, 1798) y el modelo depredador-presa de Lotka-Volterra (González Manteiga) representando mediante ecuaciones diferenciales el crecimiento (o decrecimiento) de unas poblaciones y la interacción



entre ellas.

Para ello partimos de un modelo básico susceptible-infectado-removido (SIR) adaptado a este problema (al cual llamamos SZM, susceptible-zombie-muerto), y fuimos aportándole complejidad añadiendo nuevos factores, influencias y variables, con sus correspondientes ecuaciones, y realizando en su caso las suposiciones necesarias para que el problema fuese modelizable.

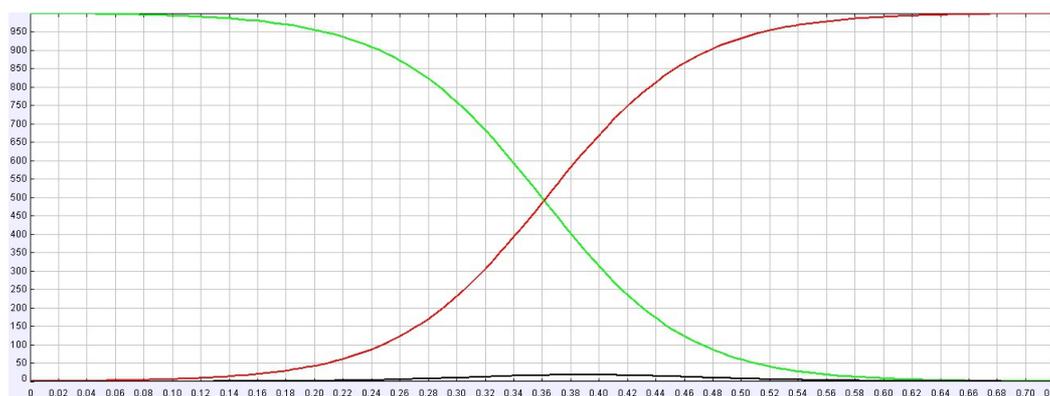


Ilustración 1: Evolución de las poblaciones **Zombie**, **Susceptible** y **Muertos**

A la vista de los resultados obtenidos, continuamos desarrollando más sistemas y modelos, esta vez buscando una salvación a la humanidad en caso de que se diera un ataque zombie. Estos nuevos modelos estaban basados en dos soluciones típicas ante el avance de una epidemia: mantener en cuarentena a la población infectada e implantar la acción de una cura; y una última opción, erradicar a cualquier individuo con aspiraciones de zombie. El objetivo de todo esto era encontrar la solución más viable y menos dañina, que resultó ser la más violenta: erradicar a toda la población zombie, tal y como se muestra en el universo de Hollywood.

Con este proyecto se puso de manifiesto la veracidad de toda la filmografía citada, entendiendo por esto no sólo la posibilidad de un Apocalipsis, sino las consecuencias de ella. Conseguimos demostrar la lógica de este universo, en donde la supervivencia equivale a la crueldad.

4. Desarrollo del trabajo

Antes de comenzar a desarrollar un trabajo propio, es conveniente buscar y analizar aquellos trabajos de temática similar ya existentes, y así lo hicimos.

Tras una larga búsqueda sobre la temática zombie, únicamente encontramos el artículo citado, "When Zombies attack!" (Munz, Hubea, Imad y Smith, 2009), que también modelizaba el supuesto de una invasión zombie en la sociedad actual mediante ecuaciones diferenciales. Sin embargo, tanto el contenido como el enfoque era claramente distinto al que queríamos darle a nuestro trabajo. Por una parte, tenía poca profundidad y se centraba en aspectos muy técnicos de las ecuaciones diferenciales, y por otra parte estábamos totalmente en desacuerdo con algunos de

los supuestos que planteaba, como el hecho de que los zombies que morían resucitaban de nuevo como zombies, lo cual evidentemente hacía imposible la salvación final de la humanidad.

En un primer intento, desarrollamos un modelo en el que se establecían tres poblaciones: Susceptibles, Zombies y Muertos, y estudiamos las relaciones que se establecían entre ellas, concluyendo las siguientes:

- Los susceptibles pueden morir por diversas causas no relacionadas con zombies, a parte, pueden convertirse en zombies debido a un encuentro con uno de ellos.
- Los muertos están formados por individuos susceptibles que han muerto por causas no necesariamente provocadas por zombies o por zombies que han sido eliminados por susceptibles. Además, los muertos pueden resucitar como zombies.
- La población zombie aumenta con cada susceptible que haya contraído el virus zombie o un muerto que haya resucitado y disminuye con cada zombie eliminado.

Todo esto se puede ver gráficamente en el siguiente diagrama, donde las letras encima de cada flecha hacen referencia al factor que describe el paso de una población a otra (natalidad, mortalidad, etc...):

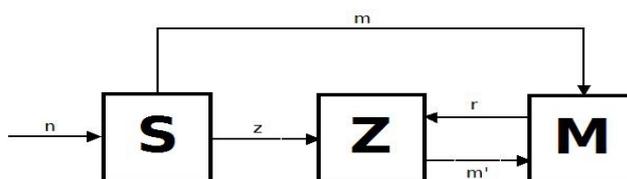


Ilustración 2: Diagrama del modelo SZM

Las ecuaciones no son más que la traducción al lenguaje matemático de lo expuesto en el anterior diagrama:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= nS - zSZ - mS \\ \frac{dZ}{dt} &= zSZ + rMZ - m'ZS \\ \frac{dM}{dt} &= mS + m'ZS - rMS \end{aligned}$$

Ilustración 3: Ecuaciones del modelo SZM

Debido a la sencillez de este sistema, decidimos añadir nuevos factores que aumentasen ligeramente la complejidad del modelo, aumentando con ello la precisión y fiabilidad de los resultados.

De esta manera surge el modelo SIZM (Susceptible-Infectado-Zombie-Muerto), en el cual se añade el efecto de la infección como un paso intermedio entre la población susceptible y la población zombie. De esta forma, creamos una nueva población: Infectados, formada por todo aquel individuo que ha contraído el virus zombie, pero que aún no se ha transformado. Además, distinguimos entre muertos zombies, y muertos humanos, imposibilitando que un zombie muerto pueda volver a revivir. La ilustración 4 muestra un diagrama explicativo del proceso seguido en este nuevo modelo.

Por la complejidad de estas ecuaciones, es preferible omitirlas. Con el programa Easy Java Simulation (Website Easy Java Simulation), obtuvimos la siguiente gráfica (ilustración 5), donde la línea roja describe la población Zombie, la naranja la población Infectada y la verde la población Susceptible:

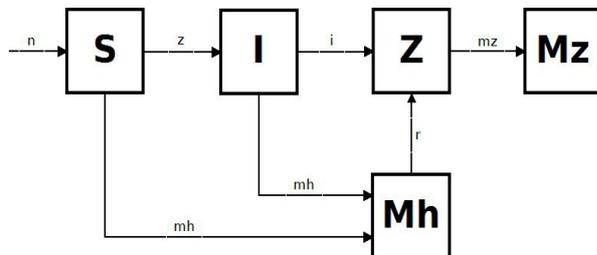


Ilustración 4: Diagrama del modelo SIZM

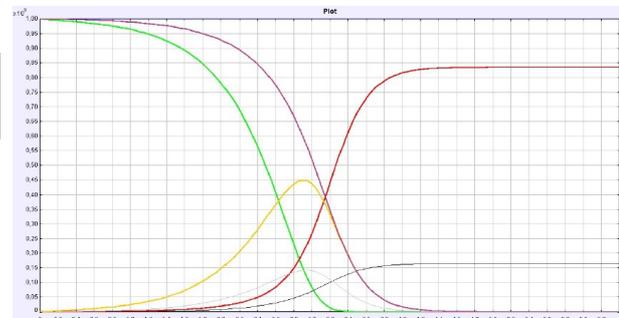


Ilustración 5: Gráfica del modelo SIZM

Comenzó entonces nuestro estudio en busca de soluciones al apocalipsis zombie, introduciendo nuevas poblaciones y nuevas ecuaciones, otorgándole mayor complejidad al modelo.

El primer caso que vimos fue un modelo con cuarentena, en el cual la población superviviente al apocalipsis pondría en cuarentena a aquellos individuos que mostrasen síntomas del virus zombie o a aquellos que ya fueran zombies, en vez de matarlos. Introducimos así una nueva población: Cuarentena (Q). Hay que tener en cuenta de que partíamos con la premisa de que esta solución no es una solución óptima, ya que se trata de una solución temporal que no elimina la amenaza zombie, sólo la oculta. Como resultados, podemos ver en la ilustración 6, al cabo de unos días la población moriría, tan sólo conseguimos retrasar ese momento.



Ilustración 6: Gráfica del modelo con Cuarentena. SIZMQ

Probamos entonces un modelo en el que se encontraría de forma rápida una cura. Estaría compuesta por una vacuna destinada a la población susceptible y una antiviral destinada a la población infectada. La vacuna dotaría a los susceptibles de inmunidad ante el virus zombie, apareciendo entonces una nueva población, la población inmune (H).

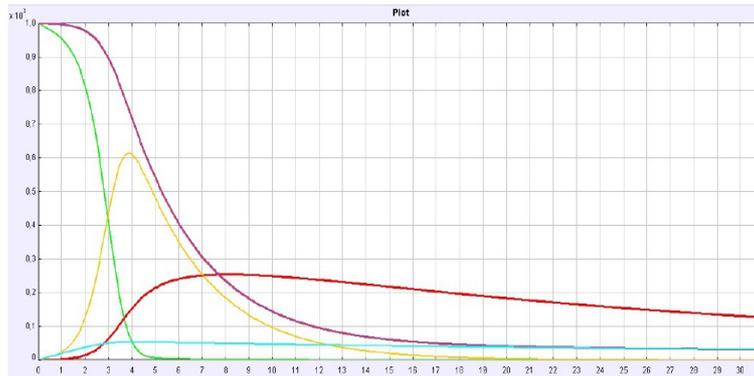


Ilustración 7: Gráfica del modelo Inmune. SIZMH

Esto tampoco nos llevaba a una solución válida (ilustración 7), ya que partimos de la suposición de encontrar la cura rápido. En este caso sobrevivía aproximadamente un 10% de la población, por lo que no creímos que fuera la solución buscada.

Finalmente probamos con la solución quizá más lógica (pero también más radical), la eliminación impulsiva de los zombies. Cuando la población zombie e infectada supera un cierto porcentaje, se inicia una campaña de erradicación de zombies. Dichas campañas acaban cuando se consigue disminuir la cantidad de zombies hasta una cantidad fijada. Así no dejábamos que la población zombie creciera tanto como en los casos anteriores. Tras varias campañas conseguimos eliminar a los zombies y con ello la supervivencia de la población, como podemos ver en la ilustración 8.

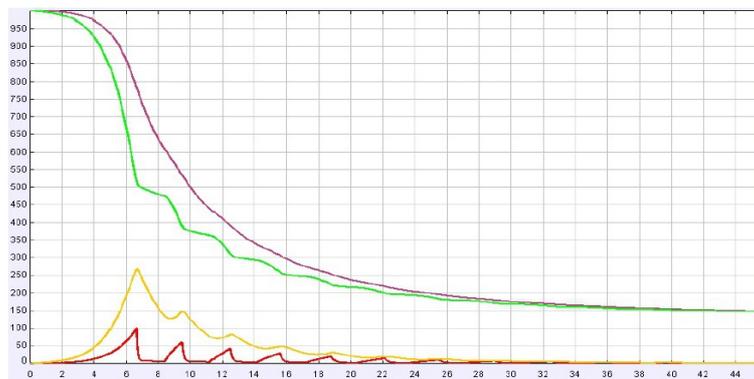


Ilustración 8: Gráfica del modelo de Erradicación. SIZM

Así, nuestro trabajo concluyó que las primeras soluciones planteadas no eran suficientes para arreglar el problema: Tanto la cuarentena como el posible descubrimiento a tiempo de una cura o incluso de una vacuna, aún planteándolo de forma optimista (bajo tiempo de desarrollo y coste) no eran suficiente para evitar el apocalipsis.

Sin embargo, un enfoque más drástico, en el que se destruía a la población zombie mediante ataques controlados pero radicales, sí arroja esperanza sobre la humanidad, y permite, si se hace de forma adecuada y con suficientes recursos, evitar el apocalipsis.

Es importante notar, por otra parte, que todos nuestros supuestos parten de la hipótesis de una actuación temprana, y esta hipótesis es fundamental para la salvación final de la humanidad. Es decir, asumimos que desde el comienzo la humanidad actúa eligiendo la solución correcta, en este caso, la eliminación drástica,

o en otro caso no hay esperanza.

Aquí es donde por otra parte podemos resaltar la importancia de la realización de modelos, que nos permiten de forma eficiente y rápida predecir las consecuencias de cada acción o solución, y de esta forma poder elegir la mejor.

Por tanto, concluimos que las penurias pasadas en libros como “Guerra Mundial Z” o “Soy leyenda” podrían haberse ahorrado si se hubiese dispuesto de un modelo matemático capaz de describir epidemias como ésta. De nuevo, la eficacia de los modelos matemáticos para la prevención y análisis de enfermedades se pone de manifiesto, incluso en situaciones tan disparatadas.

5. Un paso adelante: publicar y comunicar a congreso.

Una vez acabada la presentación, y con la posibilidad de hacer nuestra primera publicación latente, comenzó nuestra andadura en el mundo del investigador. Inexpertos en este ámbito, mantuvimos nuestra primera reunión con el profesor Esquembre, quien accedió a ser nuestro tutor en esta nueva experiencia.

Así es como aprendimos los pasos previos a cualquier publicación: revisar que nuestro proyecto sea inédito, encontrar una revista donde encajase nuestro artículo y redactarlo de forma adecuada a esa revista. Pero antes incluso, debíamos responder a una (aparentemente) sencilla pregunta: *¿qué tipo de publicación queremos hacer?* Nos decantamos por publicar en alguna revista de tema médico, matemático o docente, pues consideramos que es la temática que más se ajusta a nuestro proyecto.

Tras una búsqueda exhaustiva de revistas (haciendo uso del índice JCR) encontramos cinco revistas donde vimos viable nuestra publicación. Estas fueron “Números”, “Computational and mathematical methods in medicine”, “Journal of Science education and technology”, “Science and education” y “Computing in science & engineering”. La elección de estas cinco revistas se basó en la existencia de diferentes artículos extraídos de las mismas que se asemejaban, de una forma u otra, a nuestro proyecto. Sin embargo, a medida que profundizábamos en cada revista, encontrábamos pequeñas trabas y diferencias que hacían a unas mejores que a otras.

Varias reuniones después, elegimos la revista “Computing in science & engineering” dentro del cuartil Q2, lo cual ya supone un verdadero reto para nosotros. El proceso de adaptación de nuestro informe a un artículo es arduo y tedioso y todavía nos encontramos envueltos en él. Mientras tanto, el profesor Esquembre nos sugirió participar en este congreso de docencia, dando a conocer nuestro trabajo como una experiencia donde exponemos cómo un proyecto de clase puede convertirse en mucho más. El resultado de esta segunda parte de la experiencia pueden juzgarlo los propios asistentes a la presentación.

6. Conclusiones

Si bien este trabajo y presentación puede parecer algo diferente a lo usual en



muchos aspectos, hay algunas conclusiones muy importantes que se pueden extraer del mismo, y que como ponentes y también como alumnos queremos remarcar:

En primer lugar, los beneficios evidentes de tratar de aplicar los conocimientos obtenidos en el aula al mundo real, y no quedarse únicamente en los conocimientos teóricos que unos cuantos años después puedan ser útiles en un futuro laboral. Es cierto que el presente trabajo tenía factores que lo hacían más atractivo de por sí, pero en el fondo no es más que el resultado de tratar de aplicar los conocimientos obtenidos mediante el estudio a casos prácticos, lo que motiva al alumno a continuar aprendiendo confiando en que el esfuerzo invertido realmente es útil.

Y por otra parte, y también relacionado con lo anterior, cómo lo que iba a ser un mero “trabajo de clase” se convirtió en mucho más que eso, simplemente porque, por una parte, los alumnos estaban dispuestos a algo más, y por otra parte, el docente los animó y apoyó en ello. Muchas veces, basta un planteamiento algo más “alternativo” o sencillamente diferente, o más “atractivo” o entretenido (criterios que, en el fondo, son iguales para alumnos y profesores) y un poco más de esfuerzo por parte de ambos, para que la experiencia de la enseñanza pase de ser un mero ejercicio o trabajo con una nota a una experiencia totalmente nueva y mucho más gratificante y productiva.

Bibliografía y Referencias.

Easy Java Simulations Website. Francisco Esquembre. Obtenido de su web oficial (<http://fem.um.es/Ejs/>)

Filmografía y literatura:

- Robert Kirkman (2003): The Walking Dead.
- Película “28 Days Later” (2003) de Danny Boyle.
- Max Brooks (2006): World War Z - An Oral History of the Zombie War
- Película “I’m a legend” (2007) de Francis Lawrence.

González Manteiga, M.T., Modelo predador-presa de Volterra-Lotka
Guía docente de la Asignatura de Laboratorio de Modelización (2013),
Departamento de Matemáticas, Universidad de Murcia.
Recuperado en Enero de 2014.

Larmer, J. & Mergendoller, J.R. (2010). Seven Essentials for Project-Based Learning. *Educational Leadership*. Vol. 68, N. 1, Giving Students Meaningful Work, pp 34-37

Munz, P., Hubea, I., Imad., J. & Smith, R.J. (2009). When zombies attack!: Mathematical modelling of an outbreak of zombie infection. *Infectious Disease Modelling Research Progress*, 4, 133-150

Thomas Robert Malthus (1798), Ensayo sobre el principio de la población. Universidad de Murcia (2009) Título de Grado en Matemáticas. Obtenido de la Web de la Facultad de Matemáticas (<http://www.um.es/web/matematicas/>) en Enero de 2014.

(https://aulavirtual.um.es/umugdocente-tool/guiahtml/1597_2013_G)

Wikipedia (2014) Entrada para Project Based Learning. Recuperado en Enero de 2014. (http://en.wikipedia.org/wiki/Project-based_learning)

