

DESDE LOS PROBLEMAS LOCALES A LOS REGIONALES Y GLOBALES: IMPLEMENTANDO UN MODELO PARA COMPRENDER ALGUNAS INUNDACIONES FLUVIALES PERIÓDICAS EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA.

JOSÉ LILLO BEVIÁ
jlillo@uvigo.es
Universidad de Vigo

RESUMEN: La resolución del problema “¿hasta dónde llegará la inundación?”, utilizando un sencillo modelo geométrico-matemático, que consiste en trasladar el volumen de agua recogido en una cuenca fluvial al prisma recto de base triangular, que formaría el agua en un valle fluvial teórico, permite que los alumnos de Enseñanza Secundaria comprendan por qué se producen algunos tipos de inundaciones y puedan extrapolar la comprensión del fenómeno a situaciones similares a escala regional y global, utilizando una metodología de resolución de problemas por investigación guiada. Los resultados obtenidos permiten afirmar que los alumnos de Secundaria son capaces de comprender las limitaciones del modelo y de diseñar sencillas maquetas experimentales que les permiten comprender la influencia de algunos factores, tales como la permeabilidad del suelo y la presencia o ausencia de vegetación en el área de la cuenca fluvial. También se constata que son capaces de entrever la fragilidad de su modelo inicial y diseñar la forma de construir un modelo experimental más perfecto.

PALABRAS CLAVE: Modelos experimentales, Alfabetización en Ciencia Global, Resolución de problemas por investigación guiada, Inundaciones fluviales, Riesgos geológicos, Formación de Profesores, Educación Secundaria.

ABSTRACT: The resolution of the problem “Until where the flood will arrive”? using a simple geometric-mathematical model that consists on transferring the volume of water picked up in a fluvial basin to an right prism of triangular basis that water would form in a theoretical fluvial valley, allow secondary education students to understand why some types of floods take place and to extrapolate this understanding to similar situations at regional or global scale, using a methodology of problems resolution by guided investigation. The obtained results allow us to affirm that Secondary Education students are able to understand the limitations of the pattern and of designing simple experimental scale models that allow them to understand the influence of some factors, such as the soil permeability and the presence or absence of vegetation in the fluvial basin area. We have verified that pupils are able to see their initial model's fragility and to design the form of building a more perfect experimental model.

KEY WORDS: Experimental models, Global Science Literacy, Problem solving by guided research, River floods, Geologic risks, Training Teachers, Secondary Science Education.

1. INTRODUCCIÓN

Un aspecto importante de la educación científica de los jóvenes radica en hacerles comprender que los científicos construyen modelos para explicar la realidad, y que un buen modelo es aquel que permite un tratamiento y expresión matemática de la realidad investigada.

Por ello nuestra investigación parte de la problematización de una realidad local, las inundaciones que sufren algunas ciudades de Galicia, como Padrón (cerca de Santiago de Compostela, NW de España), debido a su situación cercana a la

desembocadura en el mar del río que las atraviesa, así como a la influencia de las mareas vivas que frenan o impiden la evacuación del agua de lluvia a través del cauce fluvial. (Ver figura 1).

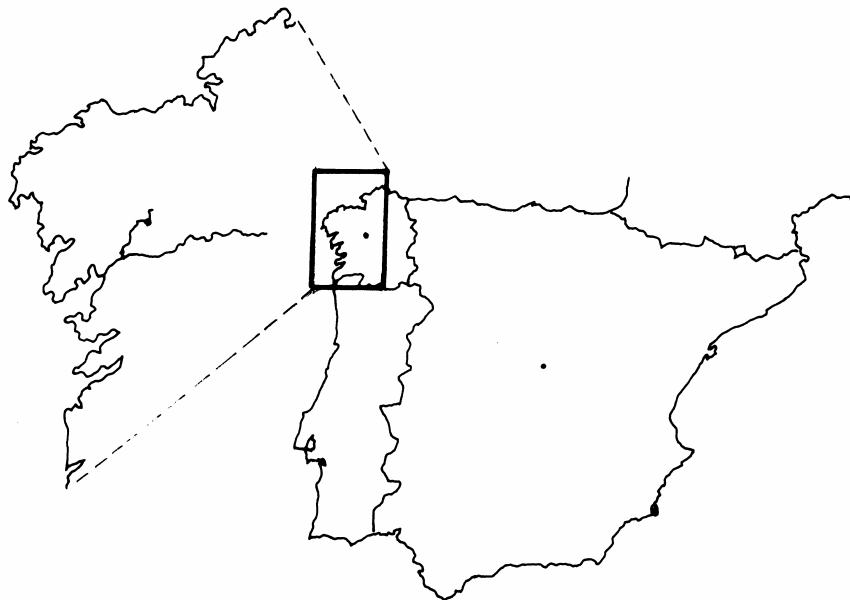


Fig. 1. Situación de la zona estudiada en un mapa de España

Los antecedentes al presente trabajo se encuentran en la necesidad de formación en actividades medioambientales, demandadas por los profesores de Galicia que debían desarrollar el Diseño Curricular de la asignatura Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (Lillo, J. y Lucas, N. 1996, 1999). Durante los años en que fui coordinador para Galicia de dicha materia, su desarrollo se enfocó bajo el lema “La Tierra Planeta Vivo”. Este enfoque fue consolidándose a través de los contactos mantenidos con el Profesor Mayer de la Universidad de Ohio quien coordinó el desarrollo de los enfoques ESE (Earth Science Education) y GLS (Global Science Literacy). Ver entre otras las siguientes citas de Mayer, V.J. (1995, 2002), Mayer, V.J. y Kumano, Y. (1999) y Lillo, J. (1998, 1999a, 1999b y 2001), que toman todas ellas el enfoque sistémico que ya proponía el Earth Science Committee (1998). Así mismo desde un punto de vista didáctico pueden encontrarse similitudes en los enfoques de Fortner, R.W. (1992) y Rumelhard, G. (1998).

Las mencionadas propuestas engloban varios paradigmas de actualidad, como son el Constructivismo Social (Marín, N., Solano, I. y Jiménez, E., 1999), el llamado

Paradigma Ecológico, la Educación Global y la Alfabetización Científica y Técnica (Fourez, G., 1994 y Marco, B., 2000) . En todos ellos, a nuestro juicio, el problema de su traslado a situaciones de construcción del conocimiento escolar, reside en cómo los alumnos construyen conocimiento científico desde la consideración de los problemas globales, que están presentes en el enunciado de los currícula actuales en la mayoría de los países. En este sentido proponemos dos propuestas complementarias de acción basadas en :

- a) La construcción de islotes de racionalidad” (Fourez, G., 1997), y
- b) El uso de conceptos integradores (Lillo, J., 1999a).

La resolución de un problema global requiere el planteamiento sucesivo de interacciones y problemas encadenados en orden a construir esquemas o aproximaciones explicativa para finalmente enseñar/aprender a construir un modelo general (Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. 1998), que en ciencias debe intentar, en la medida de lo posible, ser un modelo matemático o bien una aproximación en desarrollo del mismo.

La presente investigación se aborda mediante una secuencia de actividades diseñadas dentro de una metodología de resolución de problemas por investigación guiada (Furió, C. y Guisasola, J. 1998; Furió, C., 2001, páginas 133-135), extrapolando después sus resultados a la comprensión del mismo fenómeno a escala regional y global, recurriendo para ello a la obtención de datos mediante Internet y otras fuentes documentales, tarea en la que se implican los distintos grupos de alumnos.

El primer problema planteado es averiguar “¿Por qué se producen periódicamente inundaciones en el río Sar?”. Su resolución se aborda desde la búsqueda y selección de la noticia de la inundación y sus consecuencias en los medios de comunicación de masas e Internet, y requiere abrir “cajas negras” sobre términos como “gota fría” y otros conceptos meteorológicos y climáticos.

El segundo problema planteado después de una fuerte lluvia es averiguar “¿Hasta dónde llegará la inundación?”. Este problema preside el esquema fundamental de nuestro modelo e implica a su vez abrir nuevas “cajas negras” sobre conceptos como: “forma de cuantificar la precipitación total caída en la cuenca de un río”, “uso de cambios de escala”, “cálculo de áreas de superficies geométricas irregulares”, consideración de la “exactitud y/o aproximación en los cálculos matemáticos”, etcétera.

Para resolverlo se diseñó un sencillo modelo geométrico-matemático, consistente en calcular el agua precipitada en la cuenca del Sar, y trasladar el supuesto cubo que contendría la precipitación caída, en un prisma triangular, que sería el que formaría el agua una vez depositada en el valle fluvial (ver figura 5). La acción de una marea viva actúa como una presa de obra que evita el desagüe del río. Esta presa sería equivalente al triángulo de la base del prisma, cuya altura sería la altura alcanzada por la marea viva, y cuya anchura sería la del valle fluvial en la zona más próxima a la desembocadura del río. La altura del prisma recto sería la longitud que alcanzaría el agua embalsada en el valle del río. Calculada dicha altura y teniendo en cuenta la escala del mapa utilizado, se mide esta distancia desde la desembocadura del río y se comprueba si dicha distancia es menor o mayor que la existente hasta la ciudad de Padrón (o en un caso general hasta la ciudad problema).

Un registro histórico de las precipitaciones y de las inundaciones, comparadas con los valores de las mareas vivas en esos momentos permiten establecer una correlación perfecta, y comprobar la validez del modelo para inundaciones producidas en años diferentes.

Establecida la repetición de las condiciones investigadas, se plantea cómo resolver el impacto ambiental en la zona y se constata que el impacto de las mismas ha desaparecido o se ha mitigado enormemente mediante las obras de desvío y canalización del cauce del río por fuera de la ciudad.

La situación investigada se va haciendo más compleja con el planteamiento de nuevos problemas tales como el diseño de una maqueta experimental que nos permite verificar como se comporta el modelo frente a la influencia de diversos factores tales como la presencia o ausencia de vegetación y la existencia de un terreno permeable.

Cuando se extrapola el problema a escala regional (otras regiones españolas), los alumnos constatan fácilmente que otras localidades gallegas y muchas localidades de España sufren o han sufrido impactos similares con ocasión del fenómeno denominado “gota fría”. Lo mismo ocurre al considerar a escala global otras regiones del planeta, siendo los alumnos capaces de proponer una clasificación de los distintos tipos de inundaciones investigados.

Como conclusión final se constata que los alumnos son capaces de ver las deficiencias de su modelo y proponer mejoras del mismo, tales como trabajar con una maqueta a escala, obtenida mediante la restitución del relieve del mapa topográfico de la zona.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INVESTIGADOR: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Secuencia seguida para la resolución del problema a escala local

Se parte de la contextualización de un hecho impactante a escala local, la inundación y sus consecuencias sobre los pueblos y bienes de la zona y de su entronque con la propuesta del curriculum a desarrollar en el curso escolar. En nuestro caso se relaciona con la Unidad referida a “Riesgos e impactos en la Geosfera y en la Biosfera”.

Se propone a los diversos grupos de alumnos la secuencia de actividades que siguen para ser tratadas con una metodología de resolución de problemas por investigación guiada, que implica también el diseño de las actividades experimentales y su ejecución.

2.1.1. Primera actividad

Debatir sobre qué aspectos consideran que pueden influir en una inundación y cuáles serían los daños colaterales en personas y bienes.

Los resultados apuntan claramente que los alumnos destacan la consideración de la cantidad de lluvia precipitada y que dicha precipitación se produzca en un corto espacio de tiempo. Aunque algunos grupos indican algunos factores como los defectos de construcción, la edificación junto al canal de desagüe del río, etcétera, no aciertan a ver que la dificultad de evacuación en el área estudiada ocurre por coincidir la precipitación máxima con valores de marea alta en la desembocadura del río, hecho que impide el normal drenaje del río.

Este aspecto y otros importantes deben ser introducidos por el profesor mediante el planteamiento de problemas a discutir, comprobar y resolver, utilizando el modelo teórico implementado al efecto.

2.1.2. Segunda actividad

Buscar en los medios de comunicación de masas los datos de los valores relevantes que influyeron en la inundación (litros de lluvia caídos por metro cuadrado, nivel de las mareas en el día de la inundación), así como datos que permitan

cuantificar los daños (altura de la inundación en las casas afectadas, pérdidas materiales, etcétera).

En la inundación investigada, la precipitación recogida fue de 80 l/m^2 y la altura de la marea máxima fue de 5 m.

2.1.3. Tercera actividad

Consta de tres actividades encadenadas: 3.1: *Delimitar la forma de la cuenca fluvial del río Sar.* 3.2: *Calcular la superficie de la misma en m^2* y 3.3: *Calcular la cantidad de agua recogida en dicha cuenca sabiendo que la precipitación medida por el Instituto de Meteorología de la zona fue de 80 l/m^2 .*

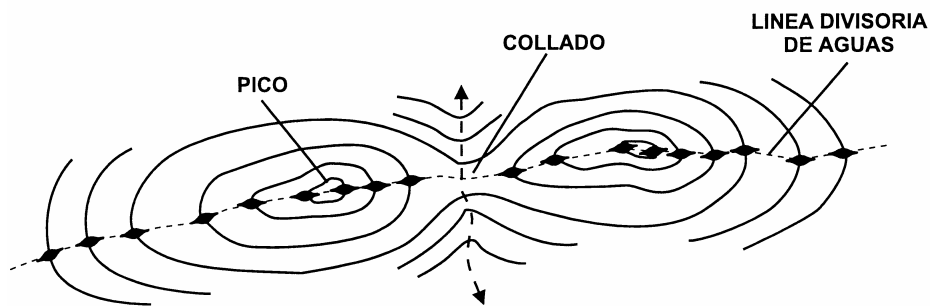


Fig. 2. Forma de dibujar sobre un mapa topográfico la línea divisoria de aguas (Según Lillo, J., 1999a, p. 211)

Actividad 3.1: La figura 2, permite fácilmente comprender como se ejecuta el trazado de la línea divisoria de aguas. Se aplicó al trazado de la delimitación de la cuenca total del río Sar sobre un mapa de escala 1:100.000 en el que dicha cuenca podía ser copiada en una hoja de papel DIN-4. El trazado de la misma puede verse en la figura 3.

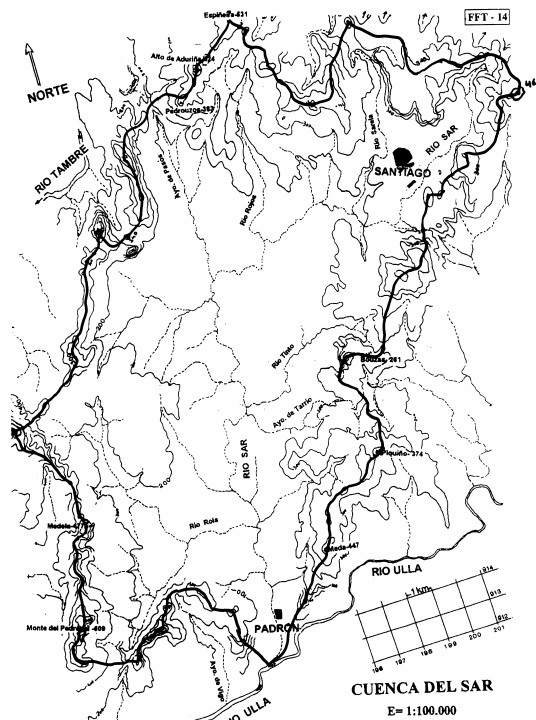


Fig. 3. Resultado de la forma que tiene la cuenca fluvial del río Sar investigado en un mapa a escala 1/100.000 (Según Lillo, J., 1999ª, p. 228)

Actividad 3.2: Sobre dicha figura se aplica una hoja de papel milimetrado transparente de cuadrícula unidad igual a 1 cm², que permite calcular fácilmente la superficie irregular de la cuenca por el procedimiento de contar el número (n) de cuadrículas completas (Cc) que entran en la misma y sumando el número (n') de cuadrículas incompletas (Ci) dividido por dos. Se aplica la fórmula matemática siguiente:

$$S = nCc + n'Ci / 2$$

Ejemplo de una de las cajas negras abiertas en la investigación: La resolución de esta actividad requiere abrir la “caja negra” sobre el concepto “Cálculo de una superficie de forma geométrica irregular por superposición de una cuadrícula”, para lo que se utilizó la figura 4 adjunta.

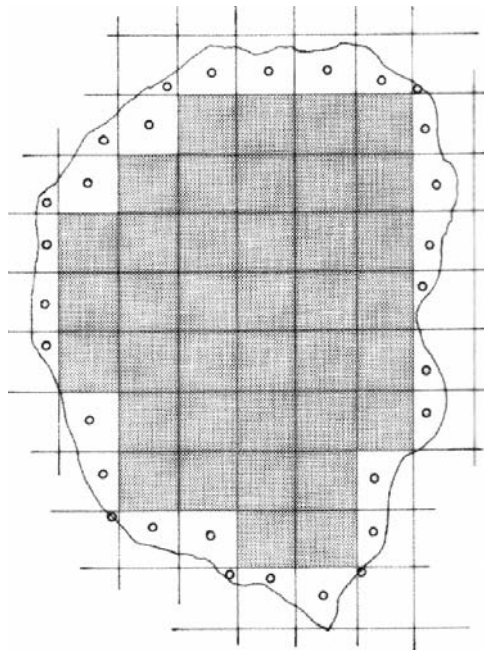


Fig. 4. Forma de calcular el área de una forma geométrica irregular por superposición de una cuadrícula (Según Lillo, 1999a, p. 214)

Los valores de la superficie calculados por los diversos grupos diferían debido a que al superponer la hoja de papel milimetrado, no lo hacían de la misma forma, con lo que variaba el número de cuadrículas completas e incompletas de un grupo a otro. Se les hizo ver que no es problema de exactitud, sino de precisión de ejecución y también por utilizar el valor promedio de las cuadrículas incompletas, que introduce más error que otros procedimientos, como usar una cuadrícula de $0,5 \text{ cm}^2$ en lugar de la de 1 cm^2 . Tomamos como valor más repetido en sus ejercicios el de $2625 \cdot 10^5 \text{ m}^2$.

Actividad 3.3: El cálculo del volumen total (V) del agua recogida en la cuenca expresado en litros (l), se obtiene al multiplicar el valor de la precipitación por unidad de superficie por la superficie (S) de la misma, resultando: $V = 80 \text{ l/m}^2 \cdot 2625 \cdot 10^5 \text{ m}^2 = 21 \cdot 10^6 \text{ litros} = 21 \text{ Hm}^3$

La resolución del problema que se plantea en la cuarta actividad permite comprender la aplicación del modelo geométrico-matemático expresado en la figura 5, a la resolución del problema, suponiendo que la acción de una marea de 5m de altura, trasladada al valle fluvial, actúa como una presa de obra construida en el mismo cauce del río.

2.1.4. Cuarta actividad

Vas a construir una presa como la de la figura 5, que contenga toda el agua de lluvia calculada en la actividad 3.3, en un valle fluvial de laderas de pendiente uniforme, de forma que la sección del valle sea un triángulo de base igual a la anchura (a) del lugar en el que vas a situar la presa, y de altura (h) igual a la que deba tener la presa. Si situas una presa de altura $h = 5\text{ m}$ en un valle de anchura $a = 1000\text{ m}$, ¿qué longitud alcanzaría el agua embalsada por dicha presa? ¿Y si construyes la presa para una anchura de valle igual a 2000 m ? ¿Y si la anchura fuese de 3000 m ?

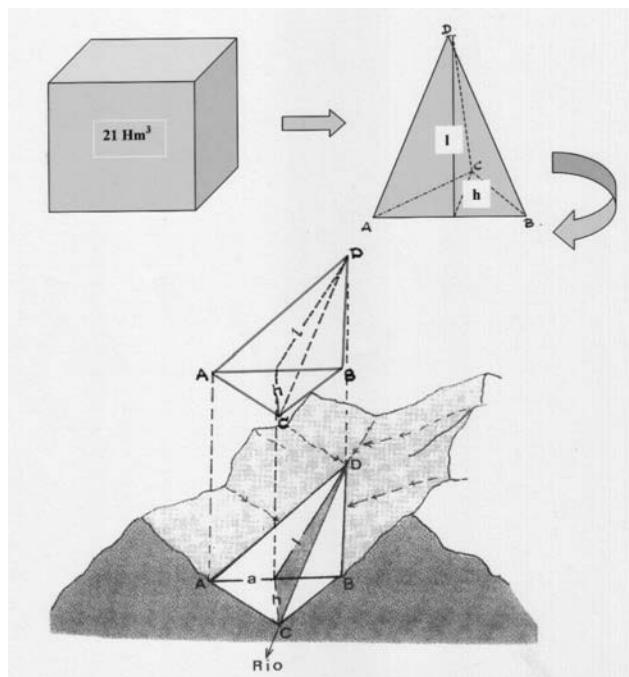


Fig. 5. Esquema de funcionamiento del modelo ideado. El agua precipitada se situaría en un cubo que, vertido en el valle fluvial, se convertiría en un prisma recto de base triangular. La altura del triángulo base sería la alcanzada por la altura de la marea máxima (o bien por una presa artificial en un caso más general: presa de obra, presa formada por obstrucción de la luz de un puente, etcétera) y la altura del prisma equivaldría a la distancia hasta la que llegaría la inundación.

Su resolución implica abrir otra caja negra sobre la consideración del volumen de un prisma (V_p) y su aplicación concreta al prisma recto de base triangular de nuestro modelo. La fórmula que expresa dicho volumen es:

$$V_p = 1/3 S_b \cdot l$$

Siendo el área de la base del prisma (S_b) la de un triángulo (S_t), cuya superficie es igual a base por altura dividido por dos. En nuestro modelo la base del triángulo se expresa por la anchura de la presa (a) y la altura (h) sería la de la marea más alta (=5 m). La altura del prisma queda expresada por la letra “ l ” y sería la distancia horizontal hasta donde se extendería el agua represada. Su cálculo se obtiene de la expresión:

$$l = \frac{3V_p}{S_b}$$

La tabla 1 expresa los resultados obtenidos para el valor “ l ” al aplicar la fórmula y considerar distintos valores de anchura de la presa.

a =Anchura de la presa (m)	h =Altura de la presa (m)	Sb = Superficie de la base del prisma (m ²)	l =Altura del prisma (igual a la distancia a la que llega la inundación)	
			(m)	(km)
1000	5	2500	25200	25,2
2000	5	5000	12600	12,6
3000	5	7500	8400	8,4
.....	5	//////		

Tabla 1

Realizados estos cálculos los alumnos miden, a la escala del mapa, la distancia desde el lugar donde se produce el represamiento y comprueban si, para cada caso, el pueblo afectado cae dentro del área inundada. En nuestro caso la ciudad de Padrón quedaba claramente dentro del área afectada, tanto si se medía desde el lugar en que el río Sar desembocaba en el Ulla, como si se medía en la desembocadura del río Ulla en el mar.

2.1.5. Quinta actividad

Utilizando Internet y las visitas a las hemerotecas de los diarios e instituciones oficiales de la zona, comprobar en la historia reciente en qué medida las inundaciones afectaban a Padrón y si el problema se eliminó o mitigó con el desvío del cauce del río por fuera de la ciudad.

Los alumnos comprobaron que el problema se resolvió con el desvío del cauce y en la actualidad las inundaciones provocadas por el fenómeno de la gota fría, se producen en otros cauces fluviales cercanos en los que no se han tomado medidas similares, como Caldas de Reyes atravesada por el río Umia. Así lo demuestran las recientes inundaciones padecidas repetidamente entre diciembre del 2000 y finales de enero del 2001, y las sufridas en la historia reciente de la zona.

3. INICIACIÓN A LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUETA EXPERIMENTAL PARA ENTENDER EL MODELO

El profesor plantea a los diversos grupos de alumnos la construcción de una maqueta como la de la figura 6, que permita comprobar cómo influyen en el modelo algunos factores tales como la permeabilidad del terreno de la zona o la presencia o ausencia de vegetación.

3.1. Sexta actividad:

Construye una maqueta experimental como la de la figura 6 y comprueba la influencia que pueda tener en el impacto producido por una inundación la porosidad del suelo en la zona y la presencia o ausencia de vegetación.

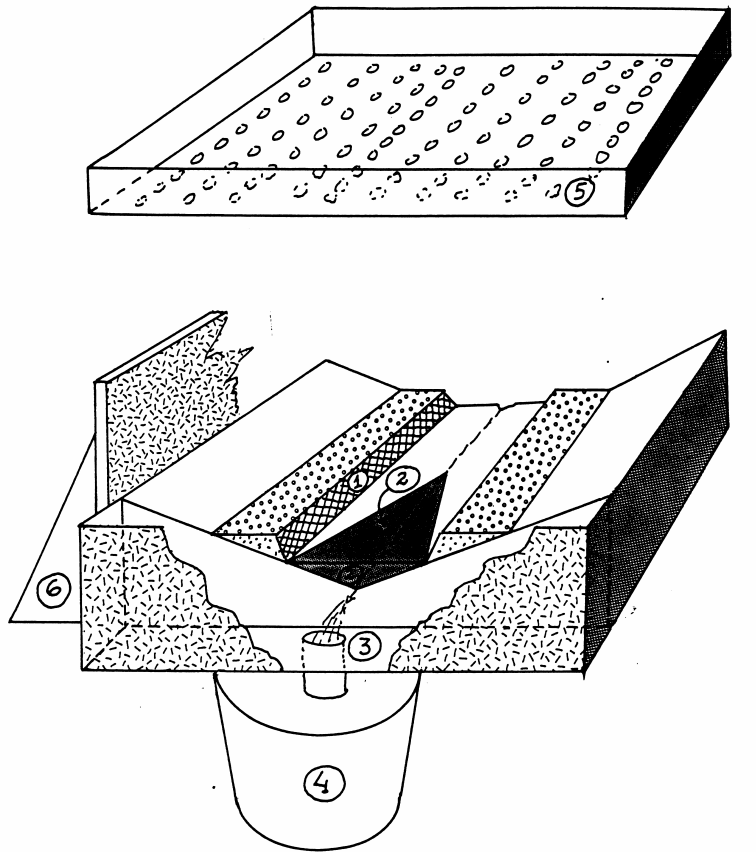


Fig. 6. Maqueta de modelo experimental. 1: malla de alambre fino para retención de la arena. 2: Agua retenida por la presa triangular colocada en el frente del valle. 3: Orificio de desagüe del agua que rebose. 4: Recipiente de recogida del agua. 5: Bandeja perforada en la que se vierte la cantidad de agua que simula la precipitación caída. 6: Soportes laterales para sostener la bandeja perforada y tener las manos libres para realizar la medición de tiempos mientras se vierte el agua en la bandeja.

En la figura 7 reproducimos el modelo más sencillo construido por alumnos de Secundaria. Primeramente ensayaron con suelo permeable, simulado mediante una malla de alambre que colocada en el cauce permitía retener a los lados del valle la arena y midieron el tiempo que tardaba en desaguar el agua vertida. Después investigaron sobre la influencia de la vegetación utilizando musgo sobre las laderas del valle, que simulaba la presencia de vegetación. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

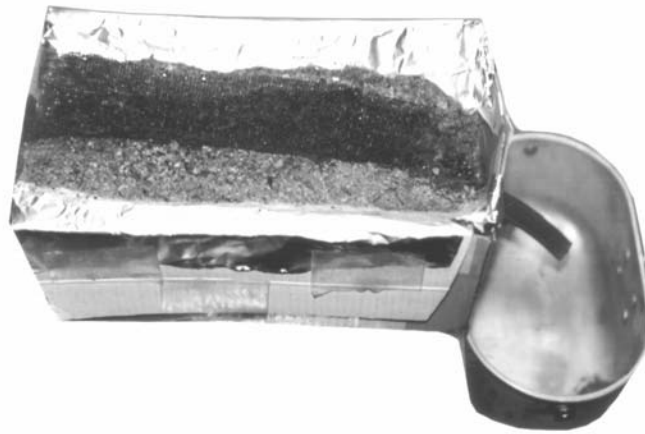


Fig. 7. Maqueta experimental construida por uno de los grupos de alumnos de niveles intermedios de Secundaria

3.1.2. Experimentación con un suelo permeable (simulado por arena de playa)

- Cantidad de agua vertida: 200ml
- A los 30 segundos se han recogido en el recipiente final 127ml. Queda un lento goteo que cesa a los 45 segundos.
- Transcurridos 45 segundos se ha recogido en total 133 ml.
- En el suelo arenoso de las “laderas del valle” quedan retenidos 67ml (200-133).
- Por tanto el agua retenida por el suelo arenoso equivale a un 33,5% del total precipitado.

3.1.3. Experiencia con el efecto que supone la presencia de vegetación (simulada por musgo)

- Cantidad de agua vertida: 200 ml.
- A los 70 segundos han pasado 132 ml y queda goteando.
- A los 130 segundos deja de gotear y se han recogido 150 ml.
- Por tanto el musgo retuvo 50ml, que equivalen a un 25% del total de agua precipitada.

3.1.4. Experiencia sobre el efecto combinado arena más musgo (suelo permeable y cubierto de vegetación)

- Cantidad de agua vertida: 200 ml.
- A los 18 segundos han pasado 132 ml y queda goteando.

- A los 180 segundos deja de gotear y se han recogido 147 ml.
- El agua retenida ha sido 53 ml (200-147), que equivale a un 26,5 % del total de agua precipitada.

A los alumnos les sorprende que la retención de agua sumando factores no sea la suma del agua retenida obtenida por los factores considerados separadamente.

Ejemplo de interacción del profesor con los alumnos de un grupo de trabajo, planteando cuestiones sobre el trabajo realizado:

Profesor (P): En vuestra maqueta habéis cubierto con musgo toda el área afectada. Sin embargo cuando viajamos a lo largo del valle del Río Sar por la autopista, podemos ver que las masas de vegetación constituyen solamente algunas zonas y no toda el área. ¿Pensáis que el % de agua retenida por la vegetación que habéis obtenido es el correcto?

Alumno (Iván): Bueno habría que colocar el musgo repartido. Pero sería muy difícil que se pareciera a la distribución real en el terreno.

Alumno (Iago): Yo creo que si establecemos una proporción entre el área ocupada por la vegetación y el área real del valle del Sar, este factor, multiplicado por el % obtenido anteriormente, podría dar un valor más próximo a la realidad. Pero no sabría como calcular el área que ocupa realmente la vegetación.

Profesor (alaba la idea y propone la apertura de una nueva “caja negra”, el cálculo del área que ocupa la vegetación sobre un mapa topográfico): Me parece una idea razonable. ¿Sabríais calcular el área ocupada por la vegetación si os proporciono un mapa topográfico, en el que calcaseis las áreas de vegetación y superpusierais una cuadrícula como ya habéis hecho en la actividad 3.2 ?

4. CONSIDERACIÓN DEL PROBLEMA DE LAS INUNDACIONES A ESCALA REGIONAL O GLOBAL

Se plantea como actividades de búsqueda de datos y a la vista de los mismos realizar un intento de identificar cuales de ellas se comportan como las del modelo estudiado y cuáles no. Se completa ensayando una clasificación de los tipos de inundaciones en función de sus causas.

4.1. Séptima actividad

Utilizando los anuarios de algunos de los periódicos regionales y nacionales buscar las inundaciones más importantes registradas en los años 2001 y 2002. Utilizar Internet para ampliar detalles de las mismas.

4.2. Octava actividad

Con los datos obtenidos en la actividad anterior, intenta establecer una clasificación de los tipos de inundaciones utilizando categorías tales como: a) Inundación del valle fluvial por efecto del fenómeno denominado “gota fría”, b) Otros fenómenos de carácter meteorológico, c) Influenciadas por coincidir mareas vivas, d) Influenciadas por obras públicas mal planificadas, e) Otros fenómenos distintos a los apuntados.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La resolución de las cuatro actividades y problemas asociados referidas a la aplicación del modelo geométrico-matemático a escala local, han dado resultados satisfactorios al considerar una inundación concreta. Las dificultades más notables se referían a la no coincidencia de resultados en el cálculo de la superficie de la cuenca del río, comentada en la actividad 3.2. Por otra parte percibieron que el método de la cuadrícula no era un método matemático exacto, sino un método aproximado en el que el error disminuía con el tamaño de la cuadrícula empleada.

Los datos obtenidos en la cuarta actividad para diversas anchuras de presa y la verificación de que el agua represada por la marea viva alcanzaba en todos los casos considerados a la ciudad problema, reforzaban la validez del modelo empleado y su comprensión por los alumnos de Secundaria. La repetición de su aplicación con los datos de inundaciones de tres años diferentes, permitía reforzar, todavía más, su comprensión.

Con la construcción de una maqueta experimental pretendíamos ampliar la noción de modelo a cualquier situación dada, pero ello se resistió en una primera fase. Nos contentamos con la aplicación de actividades iniciales orientadas a explorar el efecto que podría tener la permeabilidad del suelo o la presencia/ausencia de vegetación sobre la evacuación del agua de lluvia y su drenaje, constatando que los alumnos comprendían bien el efecto de estos factores y eran capaces de construir

sencillas maquetas experimentales. En los primeros ensayos surgían dificultades en la forma de repartir el agua de lluvia sobre la maqueta. Las diferencias de tiempo entre equipos que usaban cantidades iguales de agua, pero vertidas con bandejas o vasos perforados con instrumentos de distinto grosor, les hizo comprender la necesidad de comparar factores iguales y usar bandejas o vasos con el mismo tamaño de perforación.

Los alumnos de cursos superiores de Secundaria plantearon una forma más eficaz de usar la maqueta, calculando la cantidad de agua vertida en la maqueta experimental, teniendo en cuenta la cantidad de agua realmente recogida en la cuenca fluvial y la proporcionalidad entre el área de la cuenca y el área de la maqueta.

Algunos alumnos al criticar su modelo, indicaban claramente que la maqueta experimental debería parecerse más a la cuenca real, y se propuso hacer un modelo en relieve de la cuenca a escala, que quedó para futuras investigaciones.

6. PRINCIPALES CONCLUSIONES

1. La aplicación de nuestro sencillo modelo geométrico-matemático se ha revelado como una herramienta didáctica muy útil para que los alumnos comprendan como causas principales de las inundaciones, la concurrencia de fuertes precipitaciones con el impedimento total o parcial del río para evacuar el agua precipitada.

2. Comprenden fácilmente que la limitación del desagüe se produce por obstrucción bien en su desembocadura (mareas vivas), o bien en cualquier otro tramo (existencia de presas de obra, obras públicas deficientes, obstrucción de los arcos de los puentes, desprendimientos de laderas que producen represamientos, etcétera)

3. Cuando utilizan una maqueta experimental, entienden mejor las causas que pueden retrasar o anular el efecto de las inundaciones (suelos permeables, cubierta vegetal), y comprenden también que las inundaciones pueden agravarse debido a los efectos de la deforestación por incendios o talas abusivas.

4. Asimismo son capaces de utilizar los medios de comunicación de masas e Internet para verificar la repetición de causas y consecuencias a escala regional o global, y de establecer una clasificación de los distintos tipos de inundaciones investigadas.

5. Los alumnos de cursos superiores de Secundaria son capaces de establecer claramente las limitaciones de los modelos construidos y de proponer mejoras para perfeccionarlos.

BIBLIOGRAFÍA

- EARTH SCIENCE COMMITTEE (1998): *Earth System Science: a Program for Global Change*. Washington, National Aeronautics and Space Administration.
- FOUREZ, G. y otros (1994). *Alphabetisation scientifique et technique*, Bruxelles, De Boeck Université.
- FOUREZ, G. y otros (1997). *Nos savoirs sur nos savoirs. Un lexique d'épistémologie pour l'enseignement*. Bruxelles, De Boeck Université.
- FORTNER, R. W. y otros (1992): "Biological and Earth systems science. A program for the future", en *The Science Teacher*, vol.59, pp.32-37.
- FURIÓ, C. (2001): *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Proyecto Docente. Valencia, Universidad de Valencia.
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1998): "Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad", en *Enseñanza de las Ciencias*, vol.16, nº1, pp.131-146.
- GILBERT, J.K.y BOULTER, C.J. (1998): "Learning Science Through Models and Modeling", en B.J. FRASER and K.G. TOBIN (Eds). *International Handbook of Science Education*, London, Kluwer Academic Publishers, pp. 53-66.
- LILLO, J. y LUCAS, N. (1996): *Ciencias da Terra e do Medio Ambiente. Desenvolvimento Curricular, Bacharelato de Ciências da Natureza e da Saúde*. Santiago de Compostela, Xunta de Galicia.
- LILLO, J. y LUCAS, N. (1998): "El desarrollo curricular de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente en la Comunidad Autónoma de Galicia", en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol.6, nº1, pp.924-34.
- LILLO, J. y LUCAS, N. (1999): "Focusing on Earth as a Living Planet: a Curriculum Project for Preuniversity level in Galicia (NW Spain)", en *Teaching Earth Sciences*, vol.24, nº1, pp. 29-33.
- LILLO, J. (1999a): *El principio de localización y sus consecuencias didácticas. Secuencias de actividades sobre la percepción y la representación del espacio en el estudio del medio físico natural*. Vigo, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Vigo.
- LILLO, J. (1999b): "Hacia una Alfabetización en Ciencia Global: posibilidades y perspectivas de un curriculum internacional de ciencias en niveles de educación preuniversitarios", en *Actas del IX Congreso de Historia de las Ciencias*. Pontevedra, Sept., 1999, pp. 705-714.
- LILLO, J. (2001): "¿Cómo construir conocimiento desde los problemas globales que plantea un curriculum en Alfabetización en Ciencia Global (Global Science Literacy)? Aplicación a un problema de actualidad: las inundaciones fluviales", en *Enseñanza de las Ciencias. Número extra , VI Congreso*, vol.1, pp. 303-304.
- MARCO, B. (2000). "Alfabetización científica", en F.J. PERALES y P. CAÑAL (Ed.): *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Alcoy, Marfil, pp.141-164.
- MARÍN, N.; SOLANO, I. y JIMÉNEZ, E. (1999): "Tirando de la madeja constructivista", en *Enseñanza de las Ciencias*, vol.17 nº 3, pp. 479-492.

- MAYER, V. R. (1995): "Using the Earth System Science for integrating the Science Curriculum", en *Science Education*, vol.79, n°4, pp. 375-391.
- MAYER, V. R. y KUMANO, Y. (1999): "The Role of System Science in Future School Science Curricula", en *Studies in Science Education*, vol. 34, pp. 71-91.
- MAYER, V.R. (ed.) (2002): *Global Science Literacy*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- RUMELHARD, G. (1998): "Au milieu des courants, constitution d'une didactique des sciences de la vie et de la terre", en *Aster*, n° 27, pp. 45-55.