

Vamos a atravesar una calle de circulación rápida y vemos venir un coche: ¿pasamos o nos esperamos?

Un ejemplo de tratamiento de situaciones problemáticas abiertas

Daniel Gil

Joaquín Mtnez-Torregrosa

Lorenzo Ramírez

*Departament de Didàctica de les Ciències
Universitat de València*

André Dumas-Carré

Monique Goffard

LIREST, Université de Paris VII

Anna María Pessoa

Universidade de São Paulo

Summary

We have to cross the street and we see a car coming: shall we pass or shall we wait?

We present here a concrete example of treatment of an open problematic situation in Physics, transforming paper and pencil problem-solving into a research activity.

Nota introductoria

Presentamos aquí un ejemplo concreto de tratamiento de situación problemática abierta con una orientación investigativa. La descripción y fundamentación de dicha orientación, los resultados obtenidos con la misma, etc, han sido recogidos en numerosos trabajos a los que nos remitimos (Gil y

Mtnez-Torregrosa 1983; Gil, Dumas-Carré, Caillot, Mtnez-Torregrosa y Ramírez 1989; Dumas-Carré, Gil et Goffard, 1990; Gil, Carrascosa, Furió y Mtnez-Torregrosa 1991...).

En 1987 presentamos en un libro algunos ejemplos concretos de problemas resueltos con la nueva orientación (Gil y Mtnez-Torregrosa 1987). Pero la evolución experimentada por nuestro modelo (Gil, Mtnez-Torregrosa, Ramírez, Dumas-Carré, Goffard y Pessoa 1992) y el interés por mostrar con cierto detenimiento lo que ocurre en la clase (aportaciones de los equipos de alumnos, el papel del profesor...) requieren, pensamos, la transcripción más detallada de nuevos ejemplos.

Para evitar la confusión entre lo que es transcripción del trabajo de los alumnos y lo que son reflexiones, comentarios, etc, de los autores, hemos

recurrido a la utilización de distintos tipos de letra:

- * **Negrita**, para destacar lo que se propone a los alumnos (enunciados, textos de presentación, preguntas formuladas, etc). Aquí se incluyen, por supuesto, las peticiones explícitas del modelo como "Proceder al análisis cualitativo..." o "Considerar posibles perspectivas...".
- * **Cursiva**, para transcribir lo que los alumnos hacen (o pueden hacer), aunque sin pretender una transcripción literal, sino reflejando, en general, el resultado final del trabajo realizado, tras las discusiones intergrupos animadas por el profesor y las síntesis y reformulaciones que este puede realizar o solicitar a lo largo de la resolución.
- * Por último, utilizamos la letra normal para recoger las reflexiones y comentarios de los autores (dificultades detectadas o previsibles, intervenciones realizadas, etc).

Utilizando los tres tipos de letra pretendemos evitar confusiones sobre la autoría de los distintos desarrollos recogidos, sin impedir una lectura fluida, unitaria, de dichos desarrollos.

1. Presentación de la situación problemática y discusión de su posible interés

Cuando hemos de atravesar una vía de circulación rápida por un lugar donde no existe paso de peatones, solemos analizar brevemente la situación y optar entre pasar corriendo o es-

perar. Esta elección se apoya en la recogida y tratamiento de informaciones pertinentes que, aunque tengan un carácter inconsciente, no dejan de basarse en las leyes de la Física. Proponemos, pues, abordar dicha situación y responder a esta cuestión: **"Vamos a atravesar una calle de circulación rápida y vemos llegar un coche: ¿Pasamos o nos esperamos?"**.

Como puede verse se trata de una situación en la que cualquier alumno, cualquier ciudadano, puede encontrarse con relativa frecuencia y en la que necesariamente se procede a realizar estimaciones cualitativas que determinan la elección final (pasar o esperarse). Explicitar dichas estimaciones y proceder a un tratamiento más riguroso de la situación puede tener interés desde distintos puntos de vista:

- * Ayudar a comprender el papel de las estimaciones cualitativas, a las que los científicos recurren con frecuencia, previamente a realizar cálculos más precisos. Se puede romper así con la visión tópica que asocia trabajo científico con cálculos minuciosos que, a menudo, pierden toda significación.
- * Hacer ver que las disposiciones legales sobre límites de velocidad, las decisiones urbanísticas sobre localización de semáforos, isletas en el centro de una calzada, etc, se basan - o deberían basarse - entre otros, en un estudio físico cuidadoso de las situaciones, es decir, en la resolución de problemas como el que aquí se propone.

* Podemos referirnos, por último, al interés que puede tener el tratamiento de esta situación para incidir en aspectos de educación vial y, más en general, en la toma de decisiones en torno a problemas de relación ciencia/ técnica/ sociedad.

Vale la pena, pensamos -en este y en cualquier problema- **pedir a los alumnos que se planteen cual puede ser el interés de la situación problemática propuesta** e insistir, en la reformulación, en algunas de las ideas aquí expuestas. Ello puede contribuir a favorecer una actitud más positiva hacia la tarea, evitando que los alumnos se vean sumergidos en el tratamiento de una situación sin haber podido siquiera formarse una primera idea motivadora. De hecho, cuando se propone este problema a estudiantes de Secundaria o a profesores en formación, los grupos de trabajo introducen ideas semejantes a las aquí expuestas.

En general, si se desea romper con planteamientos excesivamente escolares, alejados de la orientación investigativa que aquí se propone, es absolutamente necesario que cada tarea planteada sea presentada cuidadosamente, prestando atención a crear un interés previo que evite un activismo ciego.

Veamos ahora, tras estas reflexiones introductorias, el desarrollo previsible del trabajo de los alumnos en este problema, cuando les pedimos, como es habitual, que procedan al análisis cualitativo de la situación, etc.

2. Análisis cualitativo de la situación y planteamiento del problema

Señalemos, en primer lugar, que solicitar “el análisis cualitativo de la situación y planteamiento del problema” constituye una petición bastante global, lo que nos parece preferible a ir orientando el trabajo de los alumnos con preguntas más concretas que parcializan el abordaje de la situación. Ello no quiere decir que el profesor no pueda introducir, si necesario, nuevas cuestiones durante las puestas en común, pero lo esencial es que los grupos de trabajo se planteen una actividad suficientemente global para que tenga sentido y no constituya un simple ejercicio escolar controlado por el profesor. El papel de éste ha de ser el de favorecer una actividad lo más autónoma y significativa posible, sin descomponer innecesariamente la tarea a base de preguntas muy concretas que pueden incluso esconder el hilo conductor. Insistimos en ello porque la actitud más habitual en el profesorado es precisamente la contraria, es decir, la de parcializar la tarea en “ejercicios simples” que pierden significación e interés y pueden convertir a los alumnos en simples marionetas.

Volviendo al problema que nos ocupa, señalaremos en primer lugar que analizar una situación problemática abierta hasta formular un problema concreto exige un esfuerzo de precisión, de toma de decisiones modelizantes, etc, que , incluso en un proble-

ma tan sencillo como este, encierra dificultades para los alumnos. Entendemos, sin embargo, que son dificultades debidas, en gran parte, a la falta de hábito en detenerse suficientemente en las situaciones, en hacer explícito lo que “se da por sentado”, etc. La intervención del profesor no necesita, pues, en general, ir más allá de **pedir precisiones e impulsar a una mayor profundización**.

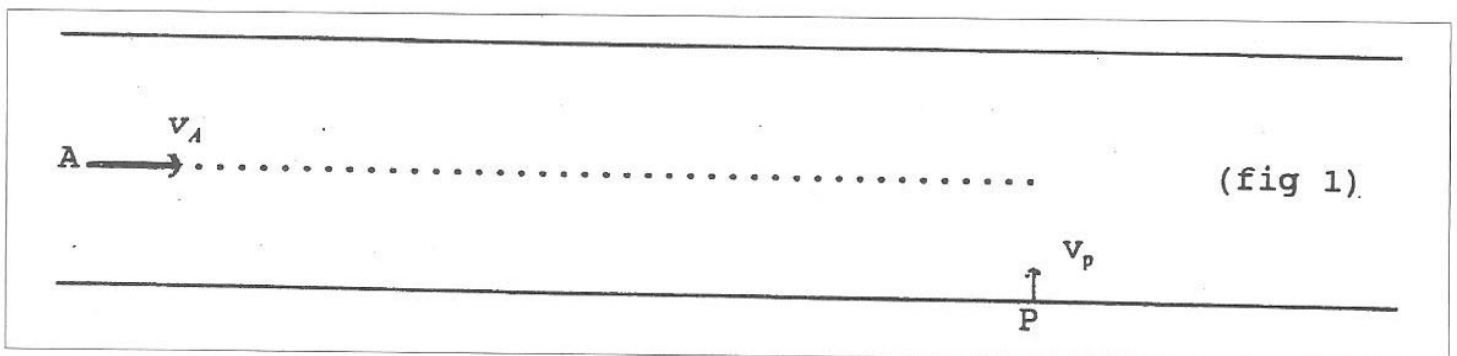
Los alumnos pueden llegar así, tras la puesta en común del trabajo de los pequeños grupos, a concebir la situación planteada en la forma que transcribimos, sintéticamente, a continuación:

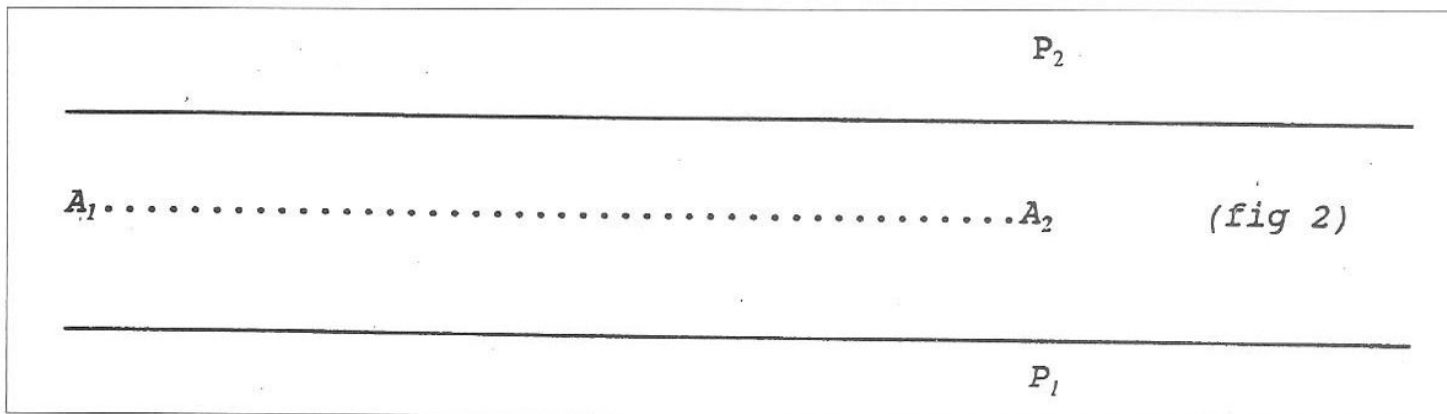
“Consideraremos que el automóvil A sigue una trayectoria rectilínea y que el peatón P atraviesa también en línea recta, perpendicularmente (fig 1).

Tomamos las velocidades de ambos vehículos, v_A y v_P , como constantes: no sólo porque es la situación más sencilla, sino porque el peatón ha de atravesar sin obligar a frenar al automóvil”.

La discusión acerca de la constancia de las velocidades es del mayor interés y no siempre se produce espontáneamente. No se trata sólo de una simplificación como las que suelen hacerse para facilitar la resolución de un

problema sino que constituye una cuestión esencial de educación vial: el conductor también evalúa la situación y ha de poder seguir su movimiento sin frenar ni desviarse bruscamente (con los peligros que ambas cosas comportan). Por supuesto la discusión puede ir más lejos y contemplar la cuestión de las velocidades máximas a las que circulan los coches y de la distancia mínima entre ellos. En efecto, si el peatón ha alcanzado un automatismo, basado en la distancia a la que percibe los coches y en la velocidad máxima a la que estos circulan habitualmente, ¿qué ocurrirá cuando un conductor circule a mayor rapidez... o acelere una vez el peatón ha comenzado ya a atravesar? ¿Qué puede ocurrir, por otra parte, si el coche frena y hay otro automóvil detrás que no ha respetado la distancia mínima que corresponde a su velocidad? Se trata, pues, de proceder a opciones que van más allá de la simple modelización simplificadora y que pueden dar lugar a debates muy vivos (*“¡La ciudad ha de ser, ante todo, para los peatones!, ¡Habría que poner fuertes multas a los peatones irresponsables!”*, etc). Los alumnos, por último, añaden la siguiente precisión para acotar el problema:





“Cabe pensar que el peatón atravesará si puede llegar a la otra orilla antes que el automóvil llegue a su altura, es decir, P ha de llegar a P_2 antes de que A llegue a A_2 ” (fig 2).

También esta clarificación de las condiciones en las que el peatón decidirá pasar genera discusión: para algunos sería preciso ampliar el margen de seguridad. En cualquier caso, la reformulación del profesor permite alcanzar un consenso en torno a la necesidad de que ni el peatón ni el conductor se vean obligados a acelerar o desviarse, como expresión de que la acción del peatón no genere peligro. Ello puede concretarse en que el peatón ha de llegar a la otra acera antes que el coche llegue a su altura (el tiempo empleado por el peatón en realizar su movimiento ha de ser menor al del automóvil). Se puede, pues, resolver el problema en términos de desigualdad, dejando así un amplio margen a las condiciones de seguridad que cada peatón puede considerar necesarias.

Una dificultad particular es la que presenta la traducción del enunciado (“¿Pasará o no el peatón?”) a una forma que implique alguna magnitud concreta. No basta, en efecto, con aco-

tar y modelizar la situación para tener un problema: **se ha de saber lo que se busca**. Una posible pregunta que cabe esperar que los alumnos se formulen a este respecto es la siguiente:

“¿Con qué velocidad debe pasar el peatón (para atravesar la calle antes de que el automóvil llegue a su altura)?”.

Se trata de una cuestión que dirige la resolución hacia el cálculo de la velocidad que ha de llevar el peatón:

“Si dicha velocidad está dentro de márgenes razonables (para el peatón en cuestión) pasará; en caso contrario se parará”.

Son posibles, sin embargo, otros enfoques y **conviene solicitar un esfuerzo para concebir otras preguntas**. Surgen así, por ejemplo, las siguientes:

“¿Que velocidad máxima puede llevar el automóvil (para que el peatón pueda atravesar la calle antes de que llegue a su altura)?” “¿A que distancia mínima ha de encontrarse el automóvil?”, “¿De cuanto tiempo dispone el peatón para pasar?”, etc.

Todas estas preguntas son formas de operativizar el mismo problema y

resultará conveniente resaltarlo al analizar los resultados.

Se ha llegado de este modo a formular un problema concreto a partir de la situación problemática inicial. Conviene, por supuesto, **proceder a sintetizar el trabajo realizado**, es decir, solicitar dicha síntesis de los propios alumnos. No la transcribimos aquí para evitar repeticiones y pasamos, pues, a la formulación de hipótesis susceptibles de focalizar el problema y de orientar su resolución.

3. Construcción de hipótesis que focalicen el problema y orienten su resolución

Si el problema ha quedado formulado como "¿Con qué velocidad ha de atravesar el peatón (para atravesar la calle antes de que el automóvil llegue a su altura)?" las hipótesis formuladas por los distintos grupos indican que:

"la velocidad mínima que ha de llevar el peatón, v_P , dependerá de (ver fig 3):

* La velocidad del automóvil, v_A (cuanto mayor sea ésta más aprisa habrá de atravesar el peatón; obviamente, para $v_A=0$ la velocidad

del peatón puede hacerse tan pequeña como se quiera.

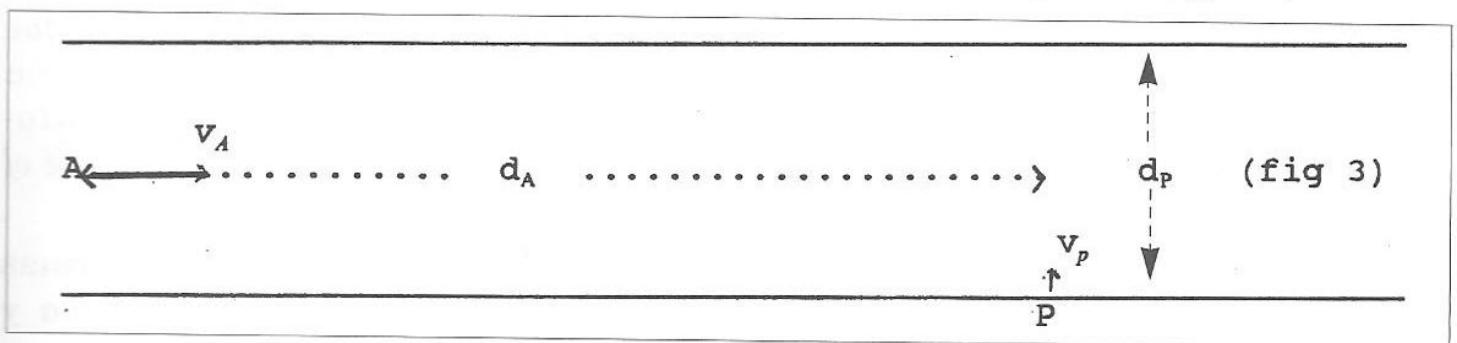
* La distancia inicial a que se encuentra el automóvil, d_A (cuanto mayor sea ésta, menor puede ser la velocidad del peatón).

* La anchura de la vía, d_P (cuanto mayor sea ésta más aprisa habrá de pasar el peatón; de hecho, una anchura muy grande hace impensable atravesar, a menos que la visibilidad sea excelente y permita ver el automóvil desde distancias también muy grandes".

Todo lo anterior puede esquematizarse en:

$$v_P = f(v_A, d_A, d_P)$$

pero conviene evitar que estas formulaciones esquemáticas -que resultan poco significativas- sustituyan a la explicación detenida del sentido de las variaciones. Por ello insistimos, una vez más, en que no conviene descomponer esta tarea, como se hace cuando se pide, p.e., "de qué dependerá v_P " para, a continuación, solicitar el sentido de las variaciones. Esto favorece las presentaciones esquemáticas, la inclusión de factores que no juegan ningún papel, etc. **Es preciso, pues, cuando**



los alumnos señalan algún posible factor, preguntarles por qué lo incluyen y no contentarse tampoco con formulaciones abstractas del tipo “si v_A aumenta v_P aumentará”, sino pedir *¿qué significa eso?* hasta conseguir que el enunciado sea más significativo: p.e., “cuanto mayor sea la velocidad v_A a que circula el automóvil, más aprisa tendrá que pasar el peatón, es decir, mayor habrá de ser la velocidad mínima v_P que puede llevar el peatón”. Del mismo modo hay que evitar la utilización mecánica de algunos casos límites como “si v_A tiende a cero v_P tenderá a cero también” que ha de dejar paso a expresiones más significativas del tipo “si la velocidad del automóvil se hace muy pequeña (tiende a cero), la velocidad que ha de llevar el peatón puede disminuir también, es decir, la velocidad mínima v_P que ha de llevar el peatón tiende a cero... lo que no quiere decir, por supuesto, que vaya a atravesar la calle con velocidad nula”.

4. Diseño de posibles estrategias de resolución

Las mayores dificultades con que los alumnos tropiezan para encontrar estrategias de resolución adecuadas tienen lugar cuando no asocian esta búsqueda con lo que ya han realizado, es decir, con las hipótesis enunciadas y con el mismo análisis cualitativo de la situación. Conviene, pues, insistir explícitamente en ello, hasta que se

convierta en algo “connatural” para los alumnos, pidiendo: **Concebir alguna(s) estrategia(s) de resolución, teniendo en cuenta la forma en que ha sido formulado el problema y las hipótesis enunciadas.** Ello permite a los alumnos elaboraciones como la siguiente:

“Se trata de tener en cuenta que el tiempo tardado por el peatón en atravesar la calle (con movimiento uniforme), t_P , ha de ser menor que el t_A empleado por el automóvil en llegar a su altura (también con movimiento uniforme); es decir, se ha de cumplir que $t_P < t_A$. Basta, pues, poner dichos tiempos en función de las distancias y velocidades (constantes) respectivas, puesto que son esas las magnitudes que figuran en las hipótesis”.

Vemos así cómo las hipótesis y el análisis cualitativo en que se basan juegan un papel orientador sin el cual la búsqueda de estrategias de resolución se convierte en algo quasi aleatorio, guiado simplemente por la necesidad de encontrar las ecuaciones que pongan en relación las incógnitas con las otras variables.

¿Qué otras estrategias pueden imaginarse? Es lógico que se piense en estrategias cinemáticas como la que acabamos de transcribir, pero ello no excluye una cierta diversidad de aproximaciones, formulando el problema de manera distinta (planteando, p.e., el cálculo de la velocidad máxima que puede llevar un automóvil para que el peatón se atreva a pasar,) o utilizando un tratamiento vectorial, etc.

5. Resolución y análisis de los resultados

Como es lógico, los alumnos no tienen dificultad en obtener:

$$d_P/v_P < d_A/v_A \text{ y de aquí } v_P > v_A \cdot d_P/d_A$$

(si lo que se persigue es determinar la velocidad mínima que ha de llevar el peatón) o bien:

$$v_A < v_P \cdot d_A/d_P$$

(si lo que se busca es la velocidad máxima que puede llevar el coche) o bien:

$$d_P < d_A \cdot v_P/v_A$$

(si se calcula la anchura máxima que puede tener la calle, etc).

Quizás las mayores dificultades las plantee la lectura significativa de este resultado -más allá de la pura expresión matemática- evidenciándose así, una vez más, la escasa práctica en el trabajo de interpretación física. En este problema, sin embargo, dicha interpretación es sencilla y los alumnos pueden constatar, sin mayores dificultades, que *“el resultado da cuenta de las hipótesis concebidas (tanto en el sentido general de las variaciones como en los casos límite concebidos). Podemos así ver que cuanto mayor sea la distancia a la que se divide el automóvil más despacio podrá ir el peatón, mientras que cuanto más ancha sea la calle (o a más velocidad vaya el automóvil) más aprisa tendrá que ir el peatón”*.

Vale la pena, sin embargo, **insistir en la búsqueda de otros argumentos que permitan aceptar o rechazar dicho resultado**, contrariando la tendencia a darse fácil-

mente por satisfechos sin mayores cuestionamientos (actitud característica del pensamiento ordinario, con el que es preciso romper). Los alumnos pueden añadir así algunas consideraciones pertinentes, como *“el resultado es dimensionalmente correcto; las distancias recorridas por cada móvil son proporcionales a sus respectivas velocidades (como corresponde a movimientos uniformes), etc.”*

Mayor interés puede tener **solicitar una estimación numérica** correspondiente a una situación real (una vía próxima al Centro escolar) de forma a **proceder a continuación a una contrastación experimental** (o a **simulaciones con ordenador**)

La discusión de las estimaciones permite salir al paso de algunas suposiciones inverosímiles: considerar, p.e., que el coche lleva una velocidad de 60 m/s, o suponer que el coche se encuentra tan cerca del peatón que éste se ve obligado a batir records de velocidad. se favorece así el entrenamiento a la evaluación cualitativa de cantidades, a la que los científicos recurren muy frecuentemente.

La contrastación experimental -semicuantitativa- es en este caso muy simple y los grupos de alumnos obtienen valores similares y plausibles para la velocidad mínima que ha de llevar el peatón.

6. Implicaciones y perspectivas

Puede ser interesante solicitar de los alumnos que conciban otros problemas relacionados con los

que acaban de resolver, incidiendo así en un aspecto clave de la investigación científica. Algunas propuestas de los alumnos resultan, sin duda, de interés; por ejemplo:

“Se puede pensar en la determinación de la velocidad mínima a que se debe atravesar un semáforo”.

Esta es una situación aún más ordinaria que la abordada aquí y por ello mismo de mayor interés práctico. La cuestión de la decisión -pasar o esperar- se mantiene y de hecho observamos con frecuencia peatones que atraviesan corriendo cuando el naranja ya se ha encendido, mientras que otros esperan hasta que el semáforo vuelve a ponerse verde.

Suele plantearse también la situación opuesta en la que es el conductor el que ha de tomar la decisión: *“Un automovilista percibe a un peatón atravesando un paso de cebra ¿Conseguirá parar antes de atropellarlo?”*

Otra situación muy similar al problema resuelto pero raramente planteada es la siguiente: *“¿Se alcanzará a los fugitivos antes de que alcancen la frontera?”.*

Se plantean también situaciones como *“¿Chocarán dos automóviles que confluyen en un cruce de escasa visibilidad?”*, o bien, *“¿Arrollará el tren al automóvil que cruza el paso a nivel?”*, etc, etc.

Imaginar estas situaciones -imaginar, en definitiva, nuevos problemas- constituye, repetimos, una actividad del mayor interés y conviene que la cuestión sea planteada, allí donde sea posible.

7. Notas de recapitulación

Conviene, por último, solicitar de los alumnos **una recapitulación de los aspectos más destacados del tratamiento de este problema**, tanto desde el punto de vista metodológico como desde cualquier otro. Por nuestra parte destacaríamos los siguientes:

- * Nos hemos referido, en primer lugar, a la conveniencia de plantear una reflexión previa acerca del interés de la situación problemática planteada (que en este caso concreto tiene claras implicaciones en aspectos de educación vial) como forma de favorecer una actitud más positiva de los alumnos y de romper con actitudes puramente escolares de “seguimiento de consignas”.
- * El tipo de enunciado propuesto (¿atrasamos la calle o nos esperamos?) ha permitido enfrentar a los alumnos con la tarea -pocas veces planteada- de precisar cual es la magnitud a determinar, ampliando así la toma de decisiones que el paso de una situación problemática a un problema concreto conlleva. La modelización de la situación problemática ha permitido, más allá de las típicas simplificaciones, plantear opciones de interés acerca de la regulación del tráfico, etc.
- * Otra singularidad de interés es la que representa una resolución en términos de desigualdad (*“la velocidad del peatón ha de ser mayor que...”*) a lo que los alumnos, en general, están poco acostumbrados.

- * Hemos insistido en la formulación significativa de las hipótesis (superando la mera enumeración de factores, etc) y en la necesidad de un cuestionamiento del resultado tan profundo como sea posible (sin conformarse con las primeras verificaciones).
- * Hemos visto también la posibilidad de introducir estimaciones cualitativas y contrastaciones experimentales, que permiten ir más allá de la simple resolución de lápiz y papel y a las que conviene recurrir siempre que sea posible.
- * Por último hemos visto la posibilidad de enfrentar a los alumnos con la tarea de concebir nuevos problemas.

Referencias bibliográficas

- DUMAS-CARRÉ A., GIL D. y GOFFARD M., (1990): Les élèves peuvent-ils résoudre des problèmes?, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 728, 1289-1299
- GIL D., CARRASCOSA J., FURIO C.

y MTNEZ-TORREGROSA J., (1991): *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Horsori: Barcelona)

GIL D., DUMAS-CARRE A., CAILOT M., MARTINEZ TORREGROSA J. y RAMIREZ L., (1989): La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación. *Investigación en la Escuela*, 6, 3-20.

GIL D. y MTNEZ-TORREGROSA J., (1983): A model for problem-solving in accordance with scientific methodology, *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455

GIL D. y MARTINEZ TORREGROSA J., (1987): *La resolución de problemas de Física*. (Ediciones del M.E. C.: Madrid).

GIL D., MTNEZ-TORREGROSA J., RAMIREZ L., DUMAS-CARRÉ A., GOFFARD M. y PESSOA A.M., (1992): La didáctica de la resolución de problemas en cuestión: elaboración de un modelo alternativo, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 6, 73-85.