

## **IDEAS SOBRE MOVIMIENTO RELATIVO NO ENSINO SECUNDARIO**

**Xabier Prado Orbán**

**IES Pedra da Auga, Ponteareas**

O presente artigo resume os resultados dun Traballo de Investigación Tutelado (TIT) realizado polo autor baixo a dirección do Dr. Xosé Manuel Domínguez Castiñeiras do Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais da Universidade de Santiago. O traballo de investigación orixínase no proceso de desenvolvemento dunha idea didáctica orixinal: que o alumnado constrúa e interprete a Relatividade Especial (R.E) mediante procedementos puramente visuais (1).

Na investigación realizada trátase de por de manifesto o estado do coñecemento que sobre a Relatividade Clásica ten un grupo de alumnos de 4º da ESO, partindo de antecedentes teóricos no marco da didáctica das Ciencias.

A análise dun movemento dende un sistema de referencia exterior ao observador é algo moi difícil para os alumnos de 4º da ESO, que se consegue só nun estado de desenvolvemento formal avanzado e con bastante entreno (2).

Tense feito moito énfase didáctico no abandono do modelo tolemaico como incorrecto para conseguir que os alumnos adopten o modelo copernicano, o cal non se xustifica dende un punto de vista relativista nen didáctico, pois sería máis interesante fomentar no alumno a capacidade de manexar as explicacións de un e outro modelo de forma coherente (3). Cando o alumno se ve forzado a abandonar o modelo xeocéntrico para adoptar de forma acrítica o modelo heliocéntrico, córrese o risco de estar consolidando un modelo alternativo que recolle os postulados centrais do modelo heliocéntrico (Sol fixo e Terra móvil) sen abandonar as explicacións intuitivas (xeocéntricas) dos fenómenos observados, todo elo cunha incoherencia interna que non é doada de detectar: a teoría do “impetus” consegue superar limpiamente a fase de instrución, suxeríndose que é especialmente persistente, tanto na Historia da Ciencia como na evolución conceptual dos alumnos (4).

Os enfoques de aprendizaxe cooperativo implican que nos procesos de aprendizaxe desenvolvidos nos contextos escolares é fundamental a interacción entre os alumnos que aprenden, así como entre estes e o profesor que ensina (5). Consecuentemente co anterior, considérase necesario aportar problemas con carácter de auténticos sobre un determinado contido curricular, relacionándoo cun fenómeno cotiá e familiar para o estudante coa finalidade de que os alumnos constrúan persoalmente os produtos e procesos culturais nun contexto que facilite a integración do traballo individual co traballo en grupo (6).

Unha das novidades introducidas na disciplina de Física pola Reforma Educativa en vigor foi a incorporación do bloque de temas de Física Moderna en 2º de Bacharelato. Este feito conleva unha serie de consecuencias nas etapas de ensino previas, pola característica da Física Moderna (e en particular da Teoría da Relatividade) de constituir un reto intelectual para o sentido común. En cursos anteriores, de maneira consecuenta, propónse dende a Reforma Educativa a preparación do alumnado en aspectos como a Relatividade galileana que poden contribuir a unha mellor comprensión posterior.

Suponse que ao rematar 4º da ESO a instrución debería ter conseguido afianzar as ideas relativistas no alumnado coa suficiente significatividade para abordar cuestións de

relevancia baseándose nela, como é o caso da Teoría da Relatividade nos cursos posteriores do Bacharelato. A investigación realizada intenta comprobar se iso é así.

A intervención foi feita durante o curso académico 2005-2006 con 10 alumnos de 4º da ESO do IES Pedra da Auga de Ponteareas (Pontevedra).

Chegouse á conclusión preliminar de conceder especial atención ao concepto de *repouso* para preparar un problema real que poña de manifesto os distintos modelos argumentativos e representacionais sobre o movemento e os sistemas de referencia relativos. Dende o punto de vista relativista, o repouso non ten nada de particular en relación co movemento, mais intuitivamente parecen ser fenómenos esencialmente diferentes. Aplicando un modelo de pensamento aristotélico, distinguiríamos sen nengunha dúbida entre a “permanencia” (repouso) e o “cambio” (movemento).

Como resultado do exterior deseñouse o seguinte problema auténtico:

### **Solpor permanente**

Unha compañía aérea promociona un dos seus voos mediante o seguinte anuncio:

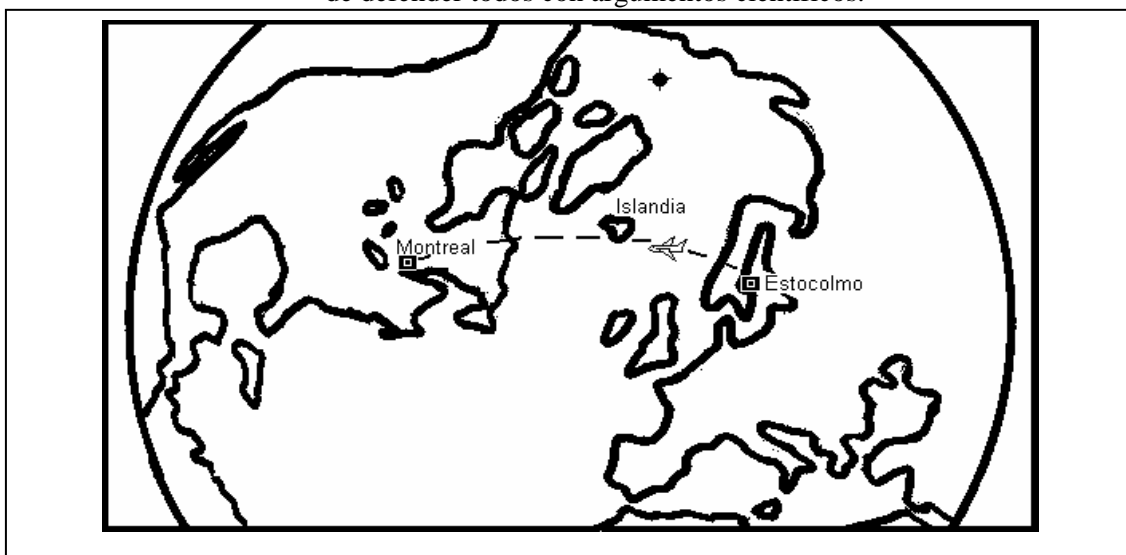
*“Poderás gozar dunha posta de Sol permanente”.*

Trátase do voo dende Estocolmo (Suecia) ata Montreal (Canadá), cruzando o Océano Atlántico Norte á altura de Islandia (ver o mapa).

O avión pasa por Islandia xusto na hora do solpor. A fermosa visión da posta do Sol preséntase aos ollos dos pasaxeiros como unha postal inmóvil. Pensas que é posible que isto suceda?

Como explicarías cientificamente este fenómeno? Podes facer algún debuxo que explique as túas ideas.

Despois de ter escrita a túa resposta, fala cos teus compañeiros para explicarlles as túas ideas e coñecer as deles. Intentade chegar a unha conclusión que vos convenza a todos sobre o fenómeno da **posta de Sol permanente**. Anota esta conclusión, que deberedes ser capaces de defender todos con argumentos científicos.



Mapa do problema auténtico

A realización da proba deseñouse en tres fases:

- Ficha previa individual (representación)
- Debate en grupos de 5 (explicitación de modelos)
- Debate en gran grupo (interacción entre modelos)

A argumentación dos alumnos concrétese en dous esquemas igualmente válidos dende o punto de vista relativista, e que denominaremos “T” para o modelo xeocéntrico (figura 1) e “S” para o modelo heliocéntrico (figura 2).

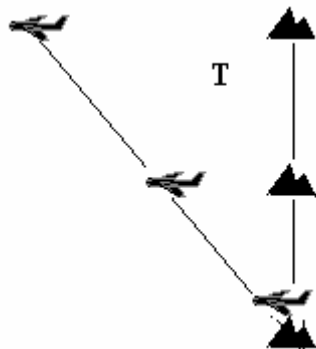


Figura 1: Modelo T, diagrama e/t

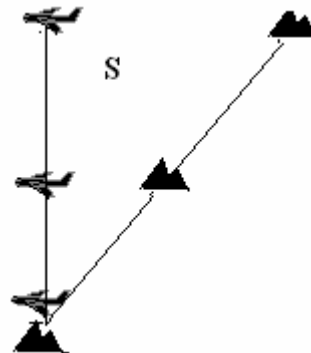


Figura 2: Modelo S, diagrama e/t

O modelo T ten como referente histórico o xeocentrismo de Tolomeo, e ofrece explicacións coherentes co que se observa a simple vista (unha vez que se acepta a esfericidade da Terra coas súas implicacións).

**Exemplo de descripción por un alumno do Modelo T (xeocéntrico):**

*Porque ao mesmo tempo que o Sol vai cambiando de posición, nós tamén nos movemos e vamos collendo o Sol sempre no solpor, nos vamos movendo sempre a altura do solpor, por iso o vemos continuamente na mesma posición.*

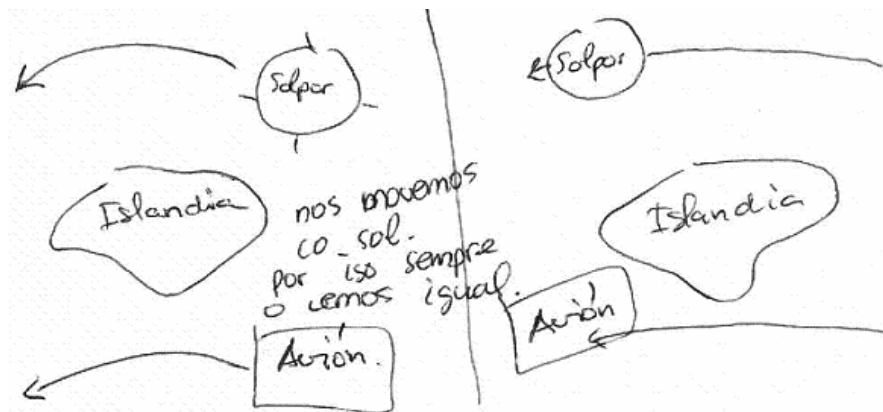
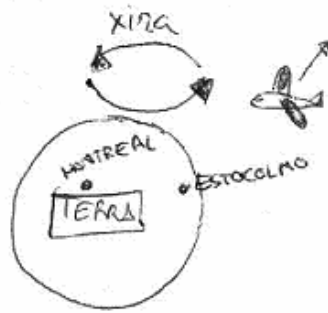
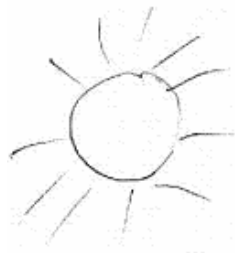


Figura 3: Debuxo do alumno (modelo T)

O modelo S orresponde coas ideas newtoniáns dun Sistema de Referencia en repouso absoluto, e sería o modelo explicativo desexable dende a ciencia escolar. En realidade, non se debería afirmar con carácter de verdade incuestionable que o Sol está inmóvil:

**Exemplo de descripción por unha alumna do modelo S (heliocéntrico):**



“O avión está quieto.  
Chega ao seu destino  
polo movemento da  
Terra.  
Ao estar quieto, obtén  
a mesma visión do  
Sol.”

Figura 4: Debuxo da alumna (modelo S)

O principal modelo alternativo manexado polo alumnado denominarémolo “modelo M” (figura 5), e coreresponde coas ideas “tipo impetus” medievais.

O avión móvese cunha velocidade de 720 km/h cara Oeste, pola forza do motor

A superficie da Terra avanza a 720 km/h cara o Leste (polo fenómeno aprendido da rotación).

Este conxunto de ideas adoita ir acompañado dun débil compromiso epistemolóxico (non se analizan en detalle as implicacións, non se aceptan os contraargumentos de carácter lóxico como refutacións, admítase a posibilidade de que un obxecto teña varias velocidades simultaneamente).

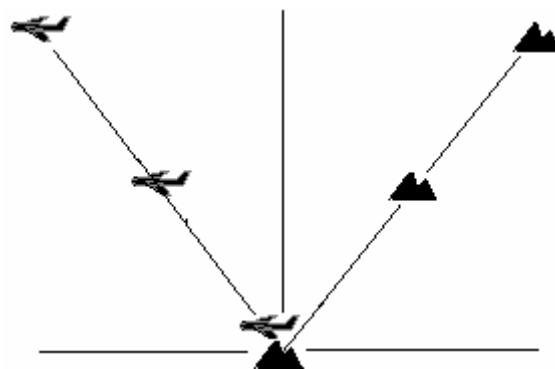
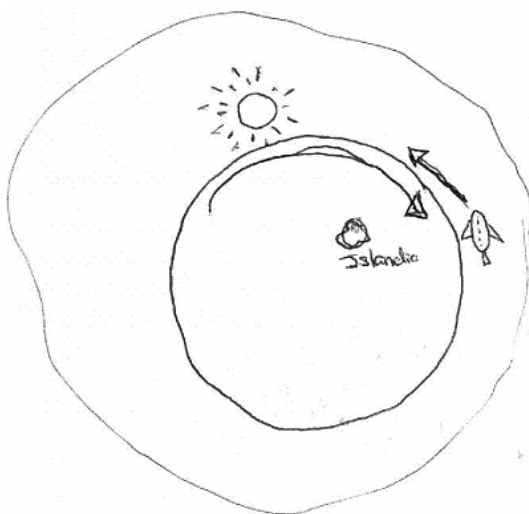


Figura 5: Modelo M, diagrama e/t

**Exemplos de descripción do modelo M (Mixto):**

“Se a Terra xira en sentido contrario ao avión, o Sol vese cada vez máis preto”.



Se a terra xira en  
sentido contrario o avión  
o sol vese cada vez  
máis preto.

Figura 6: Debuxo da alumna (modelo M)

Descrición da situación por un alumno, na que se resume o carácter cinemático do modelo alternativo Mixto:

**“Móvese o avión e móvese a Terra. E móvense coa mesma velocidade. Se non, non podería ver o Sol.”**

Esta manifestación prodúcese despois de sucesivos diálogos e debates nos que se puxeron de manifesto diferentes visións sobre o mesmo problema. O alumno expresa así a súa convicción no carácter esencial da mobilidade simultánea da Terra e do avión.

Este modelo “Mixto” (M) presenta unha incoherencia esencial que pode ser vista de dúas formas:

-A velocidade relativa entre o avión e a Terra (montañas), aplicando a regra de composición de velocidades, pasa a ser o dobre da real. A mellor forma de expresar esta incoherencia nas velocidades é ter en conta que o destino, Montreal, se atopa a 6 fusos horarios da saída en Estocolmo. En calquera dos modelos correctos, o avión tarda 6 horas en atoparse sobre Montreal. Mais no modelo M, Montreal recorre en 3 horas 3 fusos horarios cara a dereita, e o avión outros tantos ao seu encontro (cara a esquerda), polo que ao cabo tan só de 3 horas o avión vai a estar sobre Montreal, e isto contradi evidentemente o que sucede na realidade.

-Cada elemento (avión, montañas, atmosfera, etc.) pode estar simultaneamente en repouso e en movemento, posto que se aceptan os 2 SR (T e S) na mesma explicación. Esta incoherencia aparece refrexada no TAP (M) no respaldo R3 en relación coa atmosfera.

Os alumnos non ven polo xeral esta incoherencia interna como un motivo para abandonar o modelo, e tenden a xustificala de diversas formas.

A plausibilidade deste modelo alternativo é grande, e non é doado reducila:

-Incorpora os elementos máis relevantes (dende o punto de vista dos alumnos) dos modelos T e S, o que permite explicar cada fenómeno co aspecto máis comeniente.

-Acude a explicacións causais obvias dos movementos (forza para o movemento do avión, gravidade para o repouso do globo)

-Non hai compromisos epistemolóxicos previos por parte dos alumnos (de coherencia, xeralizabilidade e parsimonia nas análises).

### ***Diagrama representacional***

Unha vez caracterizados os modelos correctos dende o punto de vista relativista (T e S), obsérvase que a diferenza de carácter cinemático entre eles estriba nas velocidades asignadas ao avión e á Terra. Nas explicacións dos alumnos aparecen outras combinacións destas velocidades, que non son correctas, para describir a situación presentada. Para facilitar a análise destes modelos alternativos, estableceremos un diagrama bidimensional no cal se poidan representar estes modelos e as súas interrelacións dunha forma obxectiva. Usaremos as velocidades da Terra e do avión en cada modelo para calcular dúas variables co seguinte significado:

-*Consistencia*: Mide a corrección do modelo dende o punto de vista relativista. Trátase da velocidade relativa entre a Terra e o avión:  $C = V_t - V_a$ , o cal é un invariante para todas as transformacións de SR correctas.

-*Perspectiva*: Mide o punto de vista adoptado. Trátase da suma alxebrica das velocidades da Terra e do avión.  $P = V_t + V_a$

Considérase nos dous casos positivo o sentido Oeste, e negativo o sentido Leste.

Asignando o valor numérico de 720 km/h para as velocidades implicadas, teríamos o seguinte diagrama triangular (Figura 7):

A partir dos 3 modelos principais descritos (T, S e M) pódense recoñecer ata 25 variantes dos mesmos que foron aparecendo durante a realización da proba.

O súa representación no diagrama triangular permite comprobar a riqueza e variedade das argumentacións usadas polo grupo de alumnos durante toda a intervención. O diagrama permite visualizar a existencia dun leito conceptual entre os tres modelos argumentais básicos. Usando a terminoloxía da ecoloxía conceptual, poderíamos contemplar este resultado como a representación do ecosistema dos conceptos.

Durante a intervención realizada, as situacións de debate provocaron unha presión evolutiva sobre os distintos modelos e variantes argumentais que se ve reflexada no diagrama triangular como un desprazamento das posicións do alumnado.

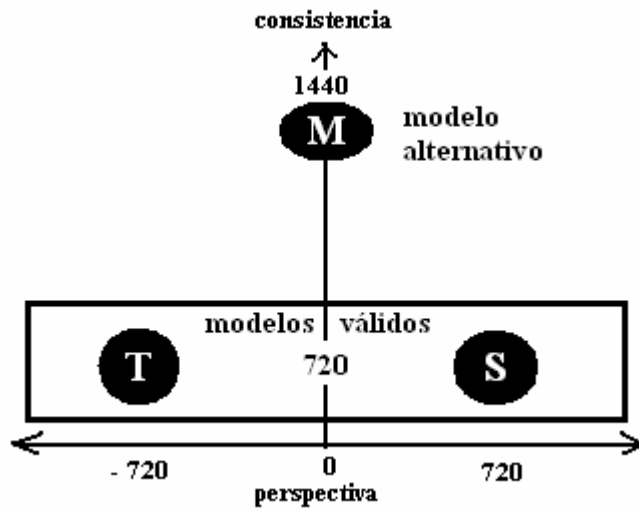


Figura 7: Diagrama representacional (eixes)

O debate entre os alumnos foi transcrito a partir de grabacións en vídeo e audio. O resultado frágntase en liñas de diálogo significativas, que foron incorporadas no diagrama triangular mediante unha letra identificativa para cada alumno.

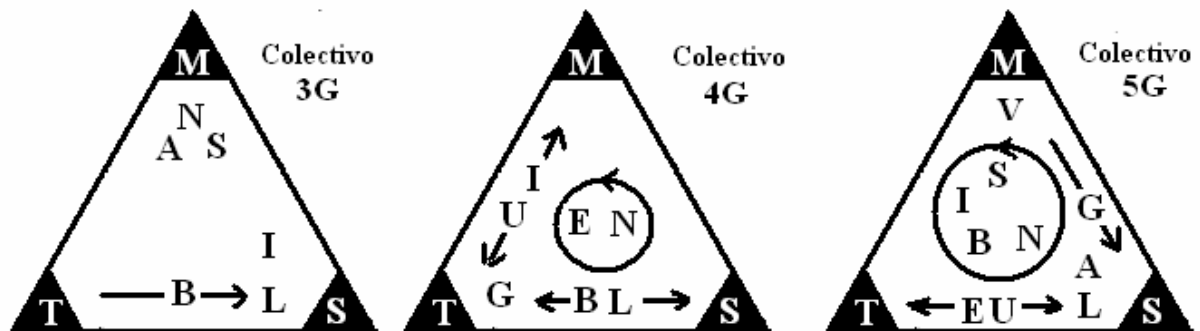


Figura 8: Evolución das ideas durante os debates en gran grupo

Obsérvase (figura 8) unha gran fluctuación entre os diferentes modelos para cada alumno, así como unha paulatina tendencia a situarse na base do triángulo (que recolle os modelos aceptables dende un punto de vista relativista). Isto constitúe un interesante efecto didáctico do problema auténtico, que nun principio tiña un carácter meramente indagatorio. Tamén aparece unha curiosa circularidade argumental en sentido antihorario, tal vez debido ás características dos modelos:

T: intuitivo, permite explicar as observacións da forma máis evidente.

S: aprendido, prestixiado pola instrucción, aparece cando se cuestiona a mobilidade solar implícita en T

M: alternativo, incoherente, adaptable, serve de refuxio ás ideas intuitivas do modelo T ante as explicacións non intuitivas producidas na análise consistente das implicacións de S.

O ciclo comenza de novo cando a mente do alumno acude de novo ao modelo natural T.

### **Implicacións didácticas**

Puidemos comprobar a eficacia da interacción entre iguais para construír novas ideas de forma significativa, tanto en pequeno como en gran grupo.

O maior obstáculo didáctico detectado tal vez sexa a dificultade para asentarmos o modelo “Sol” en contraposición ao modelo alternativo Mixto mediante contraargumentos, pois neste caso sempre consegue encontrar unha resposta ás obxeccións dentro dalgúna das súas variantes, ou ben, cando non é o caso, refuxiándose en ambigüidades de carácter epistemolóxico: indefinición do SR manexado, aceptación de varias velocidades para un mesmo móbil, variabilidade das velocidades relativas.

En relación coas posibilidades e oportunidades didácticas que ofrecen as ideas relativistas de carácter clásico nos alumnos de 4º da ESO para servir de substrato de cara á construción no Bacharelato das ideas da relatividade einsteniana constatamos unha ausencia case total de criterios relativistas, incluso unha actitude xeralizada de rexeitamento aos mesmos, e nas poucas oportunidades en que se manexaron ditos criterios, obsérvase unha escasa estabilidade, insuficiente ao noso parecer para aquel obxectivo. A este respecto consideramos necesario asentarmos as ideas relativistas como paso previo a calquera proposta que pretenda lograr unha aprendizaxe significativa da teoría no Bacharelato. Propoñemos os seguintes camiños didácticos a modo de propostas que precisarían ser investigadas para establecer a súa validez:

En cursos previos a 4º da ESO: Asentarmos as ideas xerais de carácter relativista en diferentes ámbitos.

Nos cursos finais de Primaria, a introducción da relatividade nas localizacións espaciais, temporais, escalas de temperatura, ou os cambios de perspectiva, poden facer máis aceptable a idea da variabilidade na elección do orixen. Paralelamente co anterior, débese resaltar a necesidade de coherencia nas explicacións unha vez que foi definido unha determinada orixe. Deberíase propiciar o manexo de técnicas de cambio de orixen, de forma análoga a como se manexan as técnicas de cambio de unidades. Os diagramas espacio-temporais poden ser introducidos neste nivel como unha clase especial de representación en 2 coordenadas. Poden ser útiles materiais audiovisuais dado o carácter dinámico, non estático, dos diagramas e/t. Non se debería propiciar un abandono prematuro do modelo xeocéntrico para non perder as súas potencialidades explicativas dos fenómenos cinemáticos observables.

No curso de 2º da ESO, deberíase introducir a relatividade na descrición do movemento dun móbil en varios sistemas de referencia (SR), con varios obxectivos:

-Lograr que se acepte a idea de que existen varios sistemas de referencia igualmente válidos.

-Desenvolver habilidades para a elección do sistema de referencia que mellor se adapte á descrición e análise dunha situación dada.

-Capacitar para transformar a representación dun suceso a un sistema de referencia alternativo.

-Potenciar o compromiso epistemolóxico na esixencia de coherencia. O alumnado debe tomar conciencia do inconveniente de utilizar simultaneamente varios sistemas de

referencia nas súas explicacións ou de analizar situacións sen definir o sistema referencial de forma explícita ou implícita.

-Describir os sucesos cinemáticos mediante diagramas espacio-temporais, realizando transformacións gráficas dun SR a outro.

En 4º da ESO, aparte de reforzar todos os aspectos contemplados para o segundo curso, é necesario dotar aos diagramas espacio-temporais de significado físico, explicando de forma cualitativa mediante os mesmos e sempre en consonancia coas ideas relativistas, as Leis de Newton, os choques entre móbiles, a variación da enerxía cinética en función do SR elixido (de forma análoga ao que se ven facendo habitualmente en relación coa enerxía potencial), etc. Un adestramento previo no manexo dos diagramas espacio/temporais para a visualización dos sucesos cinemáticos podería tamén axudar a enfrentarse máis eficazmente cos modelos alternativos mixtos.

Nos cursos de Bacharelato débese comprobar a significatividade das ideas anteriores antes de intentar encarar un proxecto didáctico de construción da Relatividade.

Propoñemos, a este respecto, realizar un desglose das actividades didácticas, dedicando o 1º de Bacharelato á consolidación do corpo conceptual da relatividade clásica mediante a análise visual e cualitativa (usando os diagramas espacio/tempo) das súas consecuencias físicas. En 2º de Bacharelato incorporárase o cálculo numérico mediante as coñecidas fórmulas, que poden ser deducidas de forma visual polos propios alumnos a partir da construción gráfica realizada.

Unha característica de interese dende o punto de vista da aprendizaxe significativa é o feito de estar abrindo aos alumnos as portas á comprensión dun fenómeno que produciu unha revolución intelectual ata as raíces mesmas do pensamento científico clásico, mais que non foi capaz de acadar o mesmo carácter ao nivel social, como o fixo no seu momento a idea de esfericidade da Terra.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) PRADO, X., 2005. Modelo visual para o ensino da Relatividade. *En: XXX Reunión Bienal de la RSEF, Resúmenes de las comunicaciones*, pp.343-344. Carballo, E. (Ed.), Dep. de Física Aplicada, Fac. de Ciencias de Ourense, Univ de Vigo
- (2) HIERREZUELO, J., 1993. *Ciencias de la Naturaleza: Física y Química, Educación Secundaria 3º y 4º, comentarios*. Elzevir: Vélez-Málaga.
- (3) LANCIANO, N., 1989. Ver y hablar como Tolomeo y pensar como Copérnico. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), pp. 173-182
- (4) SALTIEL, E., VIENNOT, L., 1985. Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?, *Enseñanza de las Ciencias*, 3(1), pp. 137-144
- (5) DUSCHL, R.A., 1995. Más allá del conocimiento: Los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 3-14
- (6) GARCÍA DE CAJÉN, S, DOMÍNGUEZ CASTIÑEIRAS, J. M., GARCÍA-RODEJA FERNÁNDEZ, E., 2002. Razonamiento y argumentación en ciencias. Diferentes puntos de vista en el currículo oficial. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (2), pp.217-228
- (7) NARDI, R., 1994. História da Ciência x Aprendizagem: Algumas semelhanças detectadas a partir de um estudo psicogenético sobre as idéias que evoluem para a noção de campo de força. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), 101-106