

# **TEORÍA DA RELATIVIDADE**

Secuencia didáctica  
visual para o  
Ensino Secundario

**Xabier Prado**

## Consideracións xerais:

A Teoría da Relatividade constituiu un dos elementos que revolucionaron a Física alá polo principio do século pasado, e forma cada vez máis parte da cultura xeral, moitas veces dun xeito semiinconsciente, como cando alguén fala dos buracos negros, do Big Bang, da enerxía nuclear ou da velocidade da luz como barreira infranqueable polo momento.

A pesar disto, en realidade son moi poucas as persoas capaces de manexar estes conceptos dun xeito mínimamente articulado.

Nesta proposta didáctica propoñemos un camiño para superar esta situación, aproveitando que a teoría da relatividade, esencialmente, ten un carácter xeométrico e polo tanto visual.

A posibilidade de visualizar de xeito gradual os aspectos do espacio e do tempo que conforman a teoría da relatividade ao longo de toda a educación secundaria dá pé a presentar unha proposta didáctica escalonada en varios niveis de achegamento a esta teoría. Cada nivel será identificado mediante unha letra alusiva ao nome do científico máis representativo dos conceptos traballados:

**A** (Aristóteles): Visualización do espacio e do tempo

**G** (Galileo): Visualización da Relatividade clásica

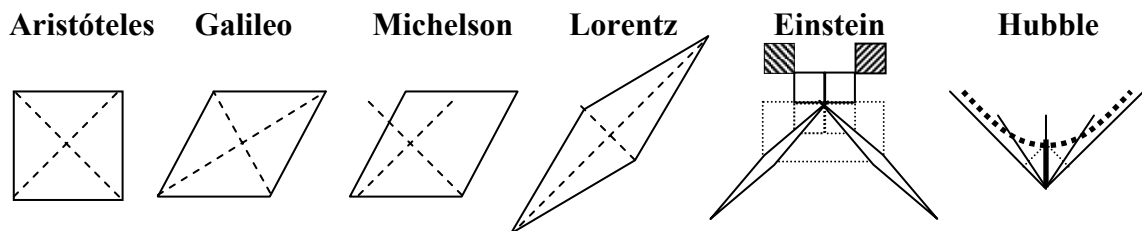
**M** (Michelson, Maxwell): Crise experimental da Relatividade Clásica

**L** (Lorentz): Visualización da Relatividade Especial

**E** (Einstein): Consecuencias da Teoría da Relatividade

**H** (Hubble, Hawking): Cálculos relativistas, Cosmoloxía básica

Identificaremos as fichas de cada Unidade dacordo co seguinte código gráfico, que resume os fundamentos da proposta didáctica visual:



## Obxectivos xerais:

### **Relación cos cursos da Educación Secundaria:**

#### **Educación Secundaria Obligatoria (ESO):**

**2º da ESO:** Visualización do espazo e do tempo (Aristóteles, Galileo)

**4º da ESO:** Visualización da Relatividade clásica e crise experimental da mesma (Galileo, Michelson, Lorentz)

Nesta etapa, trataríase de acadar unha comprensión básica dos fenómenos relativistas e o seu porqué, considerados como parte da “cultura xeral” nos tempos actuais.

#### **Educación Secundaria post-obrigatoria (Bacharelato)**

**1º de Bacharelato:** Visualización da Relatividade Especial e as súas consecuencias (Lorentz, Einstein)

**2º de Bacharelato:** Cálculos relativistas, Cosmoxía básica (Einstein, Hubble)

Nesra etapa, o alumnado con vocación científica adquiriría unha maior soltura no manexo e interpretación dos diagramas relativistas e das súas implicacións de carácter práctico, técnico ou experimental.

### Descrición dos subniveis:

Cada un dos niveis establecidos para graduar a aprendizaxe da Teoría da Relatividade desglósase an varios subniveis dacordo coa seguinte táboa:

**A (Aristóteles):** Visualización do espazo e do tempo

**A1:** espazo e tempo, representación gráfica e interpretación

**A2:** Sistemas de Referencia, visualización de magnitudes físicas

**G (Galileo):** Visualización da Relatividade clásica

**G1:** velocidade, inercia e principio de relatividade

**G2:** transformación de Sistema de Referencia Inercial

**M (Michelson, Maxwell):** Crise experimental da Relatividade Clásica

**M1:** Ruptura do experimento coa Relatividade Clásica

**M2:** Necesidade dunha nova transformación de SRI

**L (Lorentz):** Visualización da Relatividade Especial

**E (Einstein):** Consecuencias da Teoría da Relatividade

**(L,E) 1:** Dilatación temporal

**(L,E) 2:** Contracción espacial

**(L,E) 3:** Velocidade límite

**(L,E) 4:** Equivalencia entre masa e enerxía

**H (Hubble, Hawking):** Cálculos relativistas, Cosmoxía básica

**H1:** Obtención do factor numérico relativista “gamma”

**H2:** Cosmoxía: visualización do Big Bang

## **Metodoloxía xeral:**

Trátase de acadar un ensino de carácter significativo, o cal supón a capacidade de usar os coñecementos e competencias adquiridos para aplicalos en contextos variados.

Para elo, cada Unidade Didáctica artículase en actividades dacordo coa seguinte secuencia:

**EXPLORACIÓN-** Trátase de provocar o diálogo sobre un fenómeno científico para que o alumnado manifieste as súas ideas ao respecto e as confronte coas dos demais. Tamén constitúe unha avaliación inicial das ideas do alumnado sobre o tema.

**INDAGACIÓN-** Trátase de averiguar a validez das ideas e afirmacións expostas na actividade anterior. Para elo, dentro do posible, acudirase a procedementos experimentais, de xeito que agora a resposta a dea o experimento, non o profesorado ou outra fonte de autoridade.

**ESTRUCTURACIÓN E REESTRUCTURACIÓN-** Confrontados coa necesidade de coñecer máis a fondo os novos aspectos introducidos, é o turno do profesor para ofrecer a información e recursos necesarios, tanto de xeito inicial como recursivamente.

**APLICACIÓN-** Unha aprendizaxe significativa conleva a posibilidade de aplicar os conceptos e procedementos adquiridos en situacións diferentes das vistas ata o momento. Deste xeito, evítase unha repetición puramente memorística e o alumnado adquire maior seguridade e autonomía.

**AVALIACIÓN-** Aínda que todo o proceso anterior pode e debe ser obxecto de avaliación, engádense unhas probas específicas deseñadas tanto para ter unha visión global da aprendizaxe realizada como para averiguar o grao de retención das capacidades adquiridas a longo prazo (especialmente importante na investigación feita)

O carácter visual da teoría permite utilizar gran cantidade de materiais gráficos, explotando ao máximo a potencialidade da xeometría para relacionar conceptos físicos, e a maior facilidade de retención dos elementos visuais fronte aos algebraicos.

Cada ficha presentada ao alumnado se identifica mediante unha letra maiúscula que remite ao nivel conceptual (a través da inicial do científico de referencia:

**A,G,M,L,F,H**), e dunha letra minúscula que identifica o tipo de actividade que promove, (**d,p,i,d,a**, letras que se explican a continuación). Cada letra pode estar seguida dun número (cando un nivel ten varios subniveis ou unha actividade varias fichas).

### **Debates previos (d)**

Estas actividades teñen unha finalidade de EXPLORACIÓN.

Cada nivel conceptual será introducido, na medida do posible, mediante un debate colectivo estruturado sobre algún elemento clave do cal existan diversas ideas previas ou que as poida suscitar entre o alumnado.

A estrutura dos debates comezará por unha análise individual da cuestión plantexada, coa emisión dunha desposta razoada á mesma.

Estas respostas serán postas posteriormente en común en pequenos grupos, parte do debate que pode ser moi fructífera para coñecer os modelos de razoamento usados por cada alumno na argumentación entre iguais. Para elo, sería moi interesante poder grabar en audio os debates de cada pequeno grupo para ser transcritos posteriormente, a modo de pequena investigación.

Finalmente, cada grupo deberá defender o consenso acadado entre os seus membros ante as propostas dos restantes grupos, onde é moi importante o papel do profesor/a, tanto de moderador (para que se respeten unhas mínimas normas: turno de palabra,

argumentar sobre as ideas e non sobre quenes as propoñen, etc), como de animador (para sugerir ideas alternativas que non tiveran sido propostas por ningún grupo ou que caeran demasiado rapidamente en descrédito colectivo sen unha análise axeitada). Estas intervencións do profesor poden ter un certo carácter pedagógico, mais debe procurar que sexan os propios alumnos os que “descubran” as respostas aos interrogantes que plantea.

### **Prácticas (p)**

Estas actividades teñen unha finalidade principal de INDAGACIÓN.

A continuación do debate, propónse a realización dunha ou varias prácticas nas que o alumnado poida poñer as súas ideas en confrontación coa realidade experimental. Sería unha especie de continuación do debate mais non cos compañeiros senón coa realidade física a través do experimento. As características da teoría da Relatividade fan que as prácticas, ás veces, teñan un carácter de simulación superposto ao puramente experimental.

### **Fichas informativas (i)**

Estas actividades teñen unha finalidade de ESTRUCTURACIÓN (e, nalgúns casos, de reestructuración)

Os elementos da teoría serán introducidos gradualmente mediante fichas informativas de carácter visual. Estas fichas, na medida do posible, incorporan algunha actividade de recoñecemento ou afirmación conceptual.

### **Fichas de traballo (t)**

Estas actividades teñen unha finalidade de APLICACIÓN

Unha vez introducido un elemento informativo, será traballado mediante fichas nas que se procura poñer de relevancia a capacidade das gráficas para explicar conceptos físicos. O alumnado, traballando nesas actividades, irá descubriendo por sí mesmo como unha aplicación axeitada dos conceptos visuais manexados permite predecir ou explicar resultados experimentais moitas veces sorprendentes ou contraintuitivos, mais que tamén en moitas ocasións forman parte do discurso cotián.

### **Avaliación (a)**

Ainda que as fichas de traballo, e en xeral todas as actividades plantexadas, proporcionan numerosos elementos de avaliación, propóñense unha serie de fichas de carácter evaluatorio (e, nalgúns casos, tamén con certas características de indagación), para poder coñecer o progreso do alumnado na comprensión e manexo dos conceptos relativistas.

## TÁBOA XERAL DE ACTIVIDADES

### A (Aristóteles): Visualización do espacio e do tempo

Ad - DEBATE SOBRE A VELOCIDADE LÍMITE

#### **A1: espacio e tempo, representación gráfica e interpretación**

A1p1 - EXPERIENCIA sobre ESPACIO E TEMPO (MU, MUA): explicación

A1p2 - EXPERIENCIA sobre ESPACIO E TEMPO (MU, MUA): resultados

A1i1 - Manexo do VISOR do ESPACIO-TEMPO

A1i2 - VISOR do ESPACIO-TEMPO

A1t1 - Visualización das LIÑAS nas Gráficas Espacio/Tempo

A1t2 – Gráficas para Visor espacio-tempo

#### **A2: Sistemas de Referencia, visualización de magnitudes físicas**

A2p1 - Práctica: EQUILIBRIO DE MASAS E CDM (descripción)

A2p2 - Práctica: EQUILIBRIO DE MASAS E CDM (información gráfica)

A2i - INFORMACIÓN SOBRE O MOVEMENTO NAS GRÁFICAS

Espacio/Tempo

A2t1 – Interpretación física das gráficas espacio-tempo

A2t2 - SISTEMA DE REFERENCIA TERRA / LÚA (reposo)

### G (Galileo): Visualización da Relatividade clásica

Gd - DEBATE sobre MOVEMENTO RELATIVO

Gp1 - PRÁCTICA MOVEMENTO RELATIVO (colectiva)

Gp2 - PRÁCTICA MOVEMENTO RELATIVO: instruccións adicionais

Gp3 - PRÁCTICA MOVEMENTO RELATIVO: Resultados gráficos

#### **G1: velocidade, inercia e principio de relatividade**

G1i - INFORMACIÓN SOBRE a Transformación de GALILEO - Construcción

G1t - DEDUCCIÓN DA TRANSFORMACIÓN DE GALILEO

#### **G2: transformación de Sistema de Referencia Inercial**

G2i - INFORMACIÓN SOBRE a Transformación de GALILEO – Propiedades

G2t1 - SISTEMA DE REFERENCIA TERRA-LÚA (Galileo)

G2t2 – Gráficas espacio-tempo para o S.R. Terra-Lúa (Galileo)

G2t3 - CHOQUES E EQUILIBRIO

G2t4 - Gráficas espacio-tempo para Choques e Equilibrio (Galileo)

Ga1 - PROBA DE RETENCIÓN: Aplicación da Transformación de Galileo

Ga2 - CUESTIÓN S PREVIAS SOBRE A TEORÍA DA RELATIVIDADE

### M (Michelson, Maxwell): Crise experimental da Relatividade Clásica

Md - DEBATE SOBRE O EXPERIMENTO DE MICHELSON

Mp1 - PRÁCTICA DE RELATIVIDADE: Velocidade de arrastre

Mp2 - PRÁCTICA: Velocidade de arrastre (instruccións adicionais)

Mp3 - PRÁCTICA: Velocidade de arrastre (Gráficas)

#### **M1: Ruptura do experimento coa Relatividade Clásica**

M1i1 - INFORMACIÓN SOBRE O EXPERIMENTO DE MICHELSON

**M1i2** - ANÁLISE DETALLADO DO EXPERIMENTO DE MICHELSON  
**M1a** - PROBA DE RETENCIÓN: Explicación Experimento de Michelson

**M2: Necesidade dunha nova transformación de SRI**

**M2i** - CONSIDERACIÓNS SOBRE O EXPERIMENTO DE MICHELSON  
**M2t** - CONSECUCENCIAS DO EXPERIMENTO DE MICHELSON  
**M2a** - PROBA DE RETENCIÓN: Invarianza da velocidade da luz (Michelson)

**L (Lorentz): Visualización da Relatividade Especial**

**Ld** - DEBATE SOBRE O PARADOXO DOS XEMELGOS  
**Lp1** – PÉNDULOS: CHOQUE ELÁSTICO E INELÁSTICO (descripción práctica)  
**Lp2** – PÉNDULOS: CHOQUE ELÁSTICO E INELÁSTICO (resultados gráficos)  
**Lp3** – CHOQUE ELÁSTICO E INELÁSTICO (análise dos resultados)  
**Li** - INFORMACIÓN sobre a Transformación de LORENTZ  
**Lt1**- SISTEMA DE REFERENCIA TERRA-LÚA (Lorentz)  
**Lt2**- SISTEMA DE REFERENCIA TERRA-LÚA (Gráficas tr. Lorentz)  
**Lt3** - CUANTIFICACIÓN APROXIMADA DOS EFECTOS RELATIVISTAS  
**Lt4** - CUANTIFICACIÓN APROXIMADA DOS EFECTOS RELATIVISTAS (gráficas)  
**Lt5** - MAQUETA RELATIVISTA (descripción)  
**Lt6** - MAQUETA RELATIVISTA (construcción gráfica)  
**La** - PROBA DE RETENCIÓN: Conservación da velocidade da luz

**L1: Dilatación temporal**

**L1a** - PROBA DE RETENCIÓN: Dilatación temporal

**L2: Contracción espacial**

**L2i** - FORZA DE LORENTZ: magnetismo a partir da Relatividade  
**L2a** - PROBA DE RETENCIÓN: Contracción espacial  
**L3t1** – gráficas: Efectos Relativistas -- Equivalencia entre masa e enerxía

**L3: Velocidade límite**

**L3t2** - VELOCIDADES SUPRALUMÍNICAS  
**L3a** - PROBA DE RETENCIÓN: Límite de velocidade

**L4: Equivalencia entre masa e enerxía**

**L4t** - Ficha sobre a Equivalencia entre Masa e Enerxía  
**L4a** - PROBA DE RETENCIÓN: Equivalencia entre masa e enerxía.

**La1** - TEST SOBRE RELATIVIDADE - I  
**La2** - TEST SOBRE RELATIVIDADE – II

**E (Einstein): Consecuencias da Teoría da Relatividade**

**E1: Dilatación temporal**

**E1i** – MUÓNS, AVIÓNS E DILATACIÓN DO TEMPO  
**E1a1** - PROBA DE RETENCIÓN: Muóns e dilatación do tempo  
**E1a2** - PROBA DE RETENCIÓN: Experiencia de Hafele e Keating

## **E2: Contracción espacial**

- E2t1** - Interacción entre correntes eléctricas: Lei de Ampere
- E2t2** - Bobinas e cargas en movemento
- Ep1** - PRÁCTICA : Electromagnetismo e Relatividade
- Ep2** - FICHA da Práctica : Electromagnetismo e Relatividade
- E2t3** - Campo magnético
- Ep3** - Práctica: Campo magnético
- Ep4** - Práctica: MOTOR Eléctrico
- E2a** - P ROBA DE RETENCIÓN: Contracción espacial de varíñas

## **E3: Velocidade límite**

- E3t** – Aceleradores de partículas
- E3a** - P ROBA DE RETENCIÓN: Aceleradores lineais

## **E4: Equivalencia entre masa e enerxía**

- E4i1** - ENERXÍA NUCLEAR E FORNOS ESTELARES
- E4i2** - ACELERADORES DE PARTÍCULAS
- E4i3** - Fotos Enerxía Nuclear
- E4a1** - PROBA DE RETENCIÓN: Equivalencia entre masa e enerxía
- E4a2** - PROBA DE RETENCIÓN: Aceleradores circulares (creación de materia)

**Ea1** - CUESTIÓNS SOBRE RELATIVIDADE ESPECIAL

## **H (Hubble, Hawking): Cálculos relativistas, Cosmoloxía básica**

**Hd** - DEBATE SOBRE A CONSTANTE DE HUBBLE

### **H1: Obtención do factor numérico relativista “gamma”**

- H1i** - Factor “gamma” ( $\gamma$ ) relativista: Construcción gráfica
- H1t1** - Construcción de  $\gamma$  a partir de  $v$  (e viceversa)
- H1t2** - Construcción gráfica de varias transformacións do mesmo S.R.
- H1a** - PROBA DE RETENCIÓN: Enerxías e velocidades

### **H2: Cosmoloxía: visualización do Big Bang**

- H2i1** - O UNIVERSO: IDADES E DISTANCIAS
- H2i2** - IMAXES do UNIVERSO a DISTANCIAS CRECENTES
- H2t** - CONSTANTE DE HUBBLE e BIG BANG
- H2a** - PROBA DE RETENCIÓN: Big Bang e xeometría do Universo

**Ha1** - Ficha sobre o Universo e o Big Bang

**Ri** - RESUMEN VISUAL DA TEORÍA DA RELATIVIDADE (información)

**Rt** - RESUMEN VISUAL DA TEORÍA DA RELATIVIDADE (ficha de traballo)

**Ra1** - AVALIACIÓN FINAL

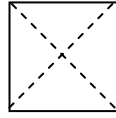
**Ra2** - Problemas numéricos sobre Relatividade Especial

**Ra3** - Comentarios sobre Relatividade

**Ra4** - AVALIACIÓN DE METODOLOXÍA E ACTITUDES

# Aristóteles

## Visualización del espacio y del tiempo



Comenzamos la secuencia didáctica que nos llevará a una visualización gráfica de la Teoría de la Relatividad mediante una Unidad Didáctica destinada a la visualización de los conceptos de espacio y de tiempo, así como a las relaciones físicas entre los mismos, la más evidente de las cuales es la velocidad.

Asociamos esta Unidad con el nombre de Aristóteles debido a que este filósofo griego fue uno de los más preocupados en conseguir unas definiciones rigurosas del espacio, el tiempo y el cambio, aunque estas no coincidan con las que elaboró la ciencia posteriormente.

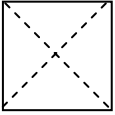
Un aspecto de la metodología aristotélica, el del rigor en los análisis y el formalismo en la derivación de las consecuencias, será especialmente interesante de tener en cuenta a lo largo de estas actividades, pues pretendemos adquirir una noción visual precisa de algo que en principio de nos presenta como contraintuitivo.

A diferencia de Aristóteles, haremos uso de resultados experimentales antes que de razonamientos puramente formales, aunque la mayoría de las experiencias que propiciaron el advenimiento de la Física Moderna no puedan ser reproducidas en los laboratorios escolares. Sin embargo, la metodología seguida por la comunidad científica en los últimos siglos, en que todo nuevo descubrimiento científico no es aceptado hasta que, después de ser debidamente publicado, es sometido a innumerables pruebas de contrastación, reproducción y verificación, nos permite tener una cierta confianza en la bondad de dichos resultados.

El armazón espacio-temporal que edificaremos en esta Unidad nos permitirá realizar algo sumamente importante en el resto de la secuencia didáctica: La derivación de consecuencias físicas a partir de aspectos puramente visuales o geométricos de dichas gráficas. Esta particularidad, asociada con el aspecto intuitivo y visual de las representaciones gráficas, será lo que permitirá usarlas con gran eficacia didáctica.

La profunda relación entre la Teoría de la Relatividad y su representación gráfica fue puesta en evidencia por el matemático alemán y profesor de Albert Einstein Hermann Minkowski, quien demostró que todas las consecuencias de la Relatividad especial pueden derivarse a partir de las propiedades geométricas de un espacio-tiempo seudoeuclídeo y tetradimensional.

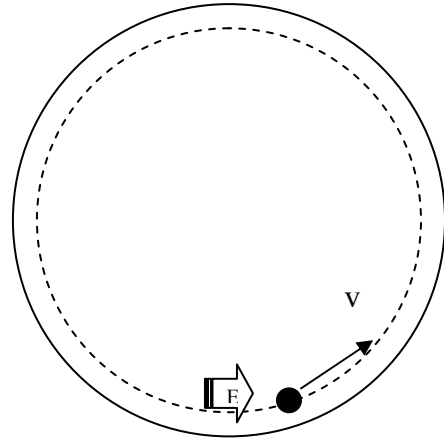
La visualización de un tal espacio en cuatro dimensiones es algo prácticamente imposible, por lo que a lo largo de esta secuencia didáctica emplearemos un modelo bidimensional del mismo. Esto puede realizarse sin perder validez en los resultados obtenidos, siempre y cuando hagamos coincidir la dimensión espacial con la dirección del movimiento relativo.



## Ad - DEBATE SOBRE A VELOCIDADE LÍMITE

Todo obxecto que acelera basándose no seu propio motor ten un límite para a velocidade que pode acadar, dependendo da masa que ten e da enerxía total de que dispón o seu motor.

Supón agora o seguinte caso: temos unha partícula indestruible, cargada positivamente (por exemplo, un protón), á que facemos xirar nun circuíto (no que previamente fixemos o valeiro) mediante campos electromagnéticos. Cada volta que da, acelerámola un chisco mediante un impulso eléctrico (do mesmo xeito que facemos para que unha persoa chegue cada vrez máis arriba nun columpio).



Pensas que existe algún límite para a velocidade que pode acadar esa partícula? Cal será, e por qué (intenta dar unha explicación de carácter científico á túa resposta)?

Razóns:

Despois xúntate cos demais membros de teu grupo e procurade chegar a unha conclusión común, que poidades defender con argumentos ante os demais grupos.

Grupo N°:                      Nomes:

Anota a conclusión:

Razóns:

Opinión persoal:

Explicación da Ficha  
**Ad - DEBATE SOBRE LA VELOCIDAD LÍMITE**



Actividade de EXPLORACIÓN inicial

La mecánica recomendada para estos debates está explicada en las páginas de la Introducción.

Se indican a continuación algunos ejemplos de frases que pueden ser usadas a conveniencia por el profesor/a para animar u orientar las discusiones:

.....

Indicade se estades de acordo ou en desacordo coas seguintes parellas de frases, e por qué:

Relatividade:

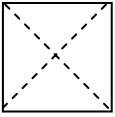
*-A velocidade non é algo fixo, depende do Sistema de Referencia: Polo tanto, podo facer que vaia a calquera velocidade só con estar nun sistema de referencia axeitado.*

*-A velocidade dun obxecto é a que ten (debida ao motor que o move), independentemente do Sistema de Referencia desde o que se mire. Por iso ten un límite.*

-----

*-A medida que un obxecto acelera, a súa liña de e/t vaise inclinando cada vez máis, e non hai ningún límite para esa inclinación (con tal de ter enerxía dabondo).*

*-Se non hai límite para a inclinación, tamén podería chegar a deitarse de todo (quedando horizontal), ou incluso seguirse inclinando.*

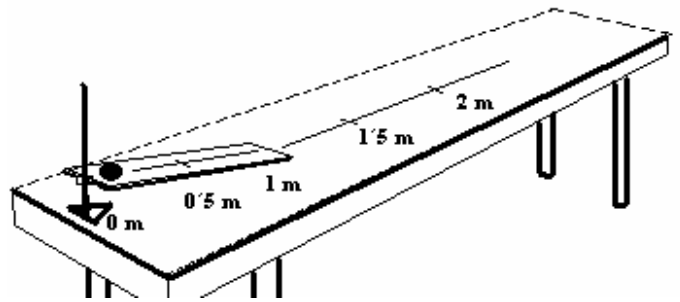


**A1p1 - EXPERIENCIA sobre ESPACIO E TEMPO (MU, MUA): explicación**

MATERIAIS: Rampa, soporte, canica, cronómetro.

**PROCEDEMENTO:**

Coloca o soporte na rampa de forma que esta teña unha inclinación de 10 cm nun extremo (deixa polo menos 2m de mesa libre por diante do outro). Coloca unha canica no extremo elevado e un tope a 25 cm de distancia do mesmo, e mide o tempo que a canica tarda en recorrer eses 25 cm. Repite o procedemento de 25 en 25 cm, e continúa ao longo da mesa ata que a canica recorra 1 m adicional en horizontal.

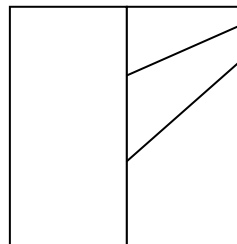


Anota os valores obtidos na primeira táboa da ficha de traballo (t)

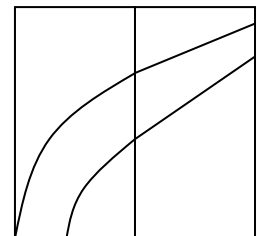
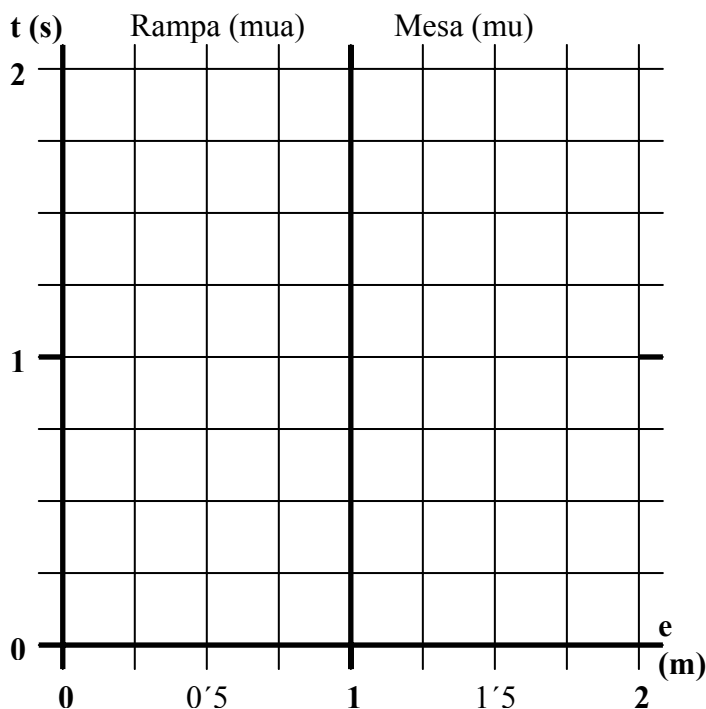
Agora solta a canica dun punto situado no centro da rampa, a 50 cm do extremo superior, e anota na seguinte táboa os tempos que tarda en recorrer cada tramo (t).

Representa na cadricula da ficha de traballo os valores do tempo fronte ao espazo percorrido (usa circuliños brancos ○ para a primeira canica, e puntos negros ● para a segunda).

-As canicas percorren a mesa horizontal con MU (liñas rectas no e/t). Traza dúas liñas rectas que encaixen entre os puntos (brancos e negros) situados a partir de 1m



-Na rampa, as canicas levan MUA, partindo de repouso. Traza dúas liñas curvas suaves que comecen no repouso (vertical), unha en 0 e a outra en 0.5 m e enlacede coas rectas anteriores (cando e = 1m nos dous casos).



Copia na cadricula da esquerda a gráfica que obtiveches na ficha de traballo.

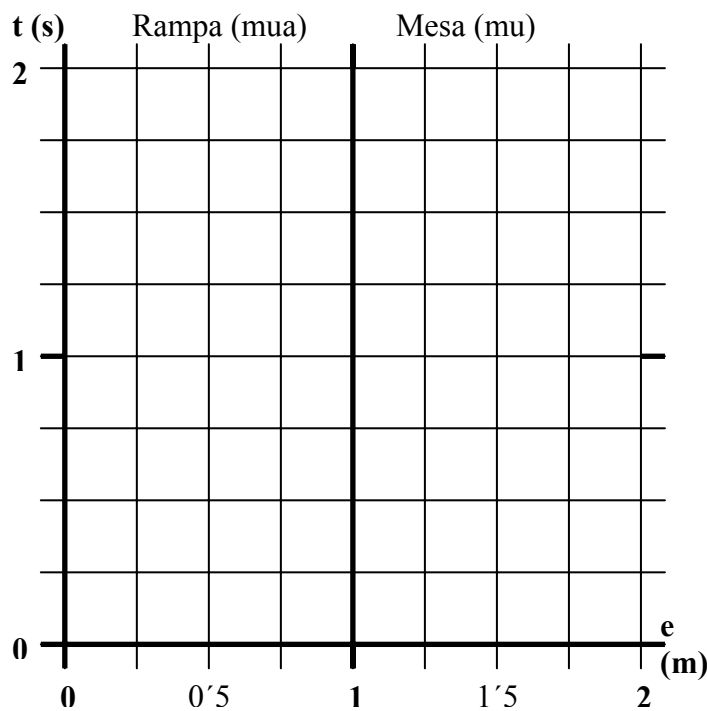


**A1p2 - EXPERIENCIA sobre ESPACIO E TEMPO (MU, MUA): resultados**

	<u>Rampa</u>					<u>Mesa</u>			
e	0 m	0'25m	0'5m	0'75m	1m	1'25m	1'5m	1'75m	2m
t	0'0 s								

e	0'5m	0'75m	1m	1'25m	1'5m	1'75m	2m
t	0'0 s						



Nº do teu grupo:      São a túa gráfica moi diferente das dos demais?  
Nese caso, cal é a diferenza e por qué será?

Cal das canicas tarda menos en chegar ao fin da rampa?  
Cal delas leva máis velocidade pola mesa horizontal?

Se soltases dúas canicas ao mesmo tempo, unha dende o extremo da rampa e outra dende o centro, 50 cm máis abaixo, que sucedería?

Chegarían a atoparse?      Onde?

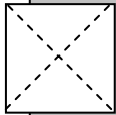
Compróbaos facendo a experiencia con dúas canicas e anota o resultado:

Entrega esta ficha antes de marchar.

### Explicación de las Fichas

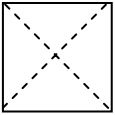
**A1p1** - EXPERIENCIA sobre ESPACIO Y TIEMPO (MU, MUA):  
explicación

**A1p2** - EXPERIENCIA sobre ESPACIO Y TIEMPO (MU, MUA):  
resultados



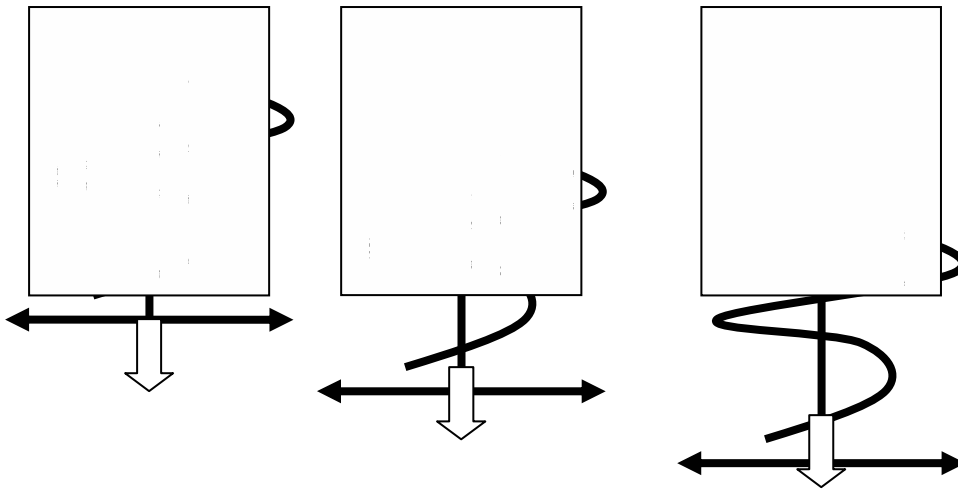
### Actividad de INDAGACIÓN

Con esta actividad se pretende que el alumnado ponga a prueba sus conocimientos sobre el espacio, el tiempo y el movimiento. Para ello, deben ser capaces de preparar una experiencia en la que es fundamental una correcta medición de distancia y de tiempos, así como una representación gráfica de estas medidas. Tanto de la forma de la gráfica como de los propios valores obtenidos, es posible obtener medidas de velocidad (media). En la representación gráfica, se intenta que sean capaces de reconocer la representación de dos tipos de movimiento rectilíneo: MRU (tramos en horizontal) y MRUA (tramos inclinados). Los puntos de contacto entre ambos tramos pueden servir para presentar el concepto de velocidad instantánea como la que corresponde a la tangente de la gráfica en cada punto (en este caso, en los puntos finales de los tramos inclinados). Finalmente, la comparación entre ambas gráficas puede servir para hacer una predicción de lo que sucederá en un experimento nuevo: Dejar que ambas canicas se desplacen simultáneamente. Es interesante intentar que los alumnos discutan sus predicciones entre ellos (a modo de debate “in situ”) antes de realizar la prueba.

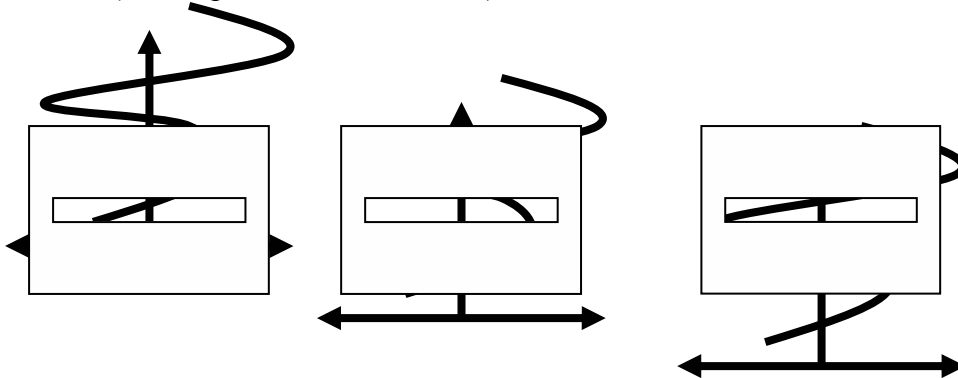


## A1i1 - Manexo do VISOR do ESPACIO-TEMPO

Os gráficos e/t teñen a propiedade de poder reflexar o paso do tempo. Para elo, podes situalos baixo un folio de forma que, a medida que se desliza o gráfico cara abaixo, vaia revelando o diagrama pouco a pouco. O folio oculta o “futuro” dese diagrama.



O efecto aínda é maior se fas unha fenda ao longo do folio (ou xuntas 2 folios deixando unha fenda estreita entre eles). Podemos ver que as liñas se transforman en puntos móbiles ( nun espacio unidimensional).



Podes construír o teu propio visor e/t cortando a ranura indicada na ficha correspondente e despois dobrando o folio como está indicado (se queres que quede consistente, aplica algo de cola e preme ben nas dobreces).

Coloca as fichas con diagramas e/t pola parte superior do visor e tira delas lentamente pola inferior (podes contar o tempo con axuda das marcas brancas e negras do centro das fichas).

Observa como a dimensión vertical desaparece e transfórmase en “tempo”, dando a impresión de que a dimensión horizontal cobra “vida”: as liñas transfórmanse en puntos con movemento.

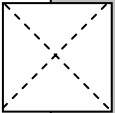
Observa a gráfica e/t que fixeches da práctica das canicas, e comproba como reproduce o movemento destas cando as soltabas á vez.

Constrúe as túas propias liñas e/t con rotuladores grosos, intentando predecir o que se vai ver co visor (anótalo pola parte de atrás de cada gráfica, e tamén o que se observa cando utilizas o visor, comparando co que pensabas antes).

Fai o mesmo coas gráficas das fichas seguintes.



Explicación de la Ficha  
**A1i1** - Manejo del VISOR de ESPACIO-TIEMPO  
**A1i2** - VISOR de ESPACIO-TIEMPO



Actividad de ESTRUCTURACIÓN

Esta actividad permite presentar una de las particularidades más importantes del espacio-tiempo, y que va a ser la gran diferencia entre estas gráficas y las figuras de geometría plana con las que se pueden confundir:

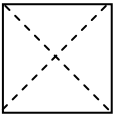
El hecho de que, en realidad, una gráfica espacio-tiempo no es otra cosa que una gráfica espacial animada.

Para ello, se explica la construcción y el modo de empleo del denominado “visor espacio-tiempo”, artilugio fácil de realizar con tijeras y pegamento a partir de una fotocopia de la segunda ficha (A1i2-Visor e/t).

Es importante que la ranura sea lo más fina posible, para que las líneas se vean lo más parecidas a un punto que se pueda.

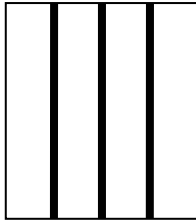
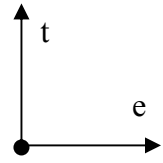
El visor así confeccionado puede ser usado con las fichas preparadas para ello a lo largo de las diferentes etapas de la instrucción., pues todas ellas, a pesar de las deformaciones que reflejen, siempre podrán ser interpretadas de la misma forma: Una realidad horizontal de carácter “Físico, simultáneo”, que se va animando y cambiando a medida que transcurre un “tiempo” representado en vertical.

También pueden ser propuestas nuevas fichas, realizadas por el profesor o por los propios alumnos para intentar relacionar las líneas trazadas con la animación que producen, así como con las medidas que se puedan realizar en ellas.

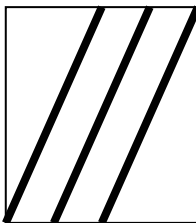


**A1t1** - Visualización das LIÑAS nas Gráficas Espacio/Tempo

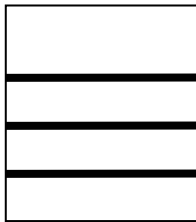
Nos seguintes cadros está representado o espacio (en horizontal) frente ao tempo (en vertical). Indica os movementos (MU, MUA) e sucesos que se representan nas mesmas. Compara tamén as tres primeiras gráficas entre sí.



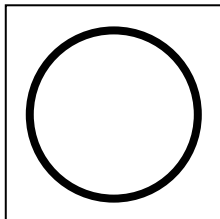
a



b



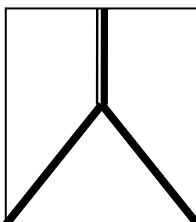
c



d



e



f

---

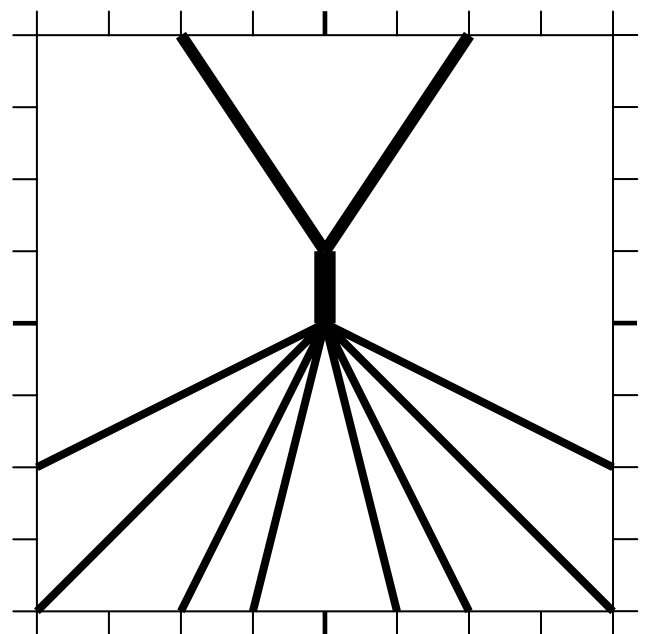
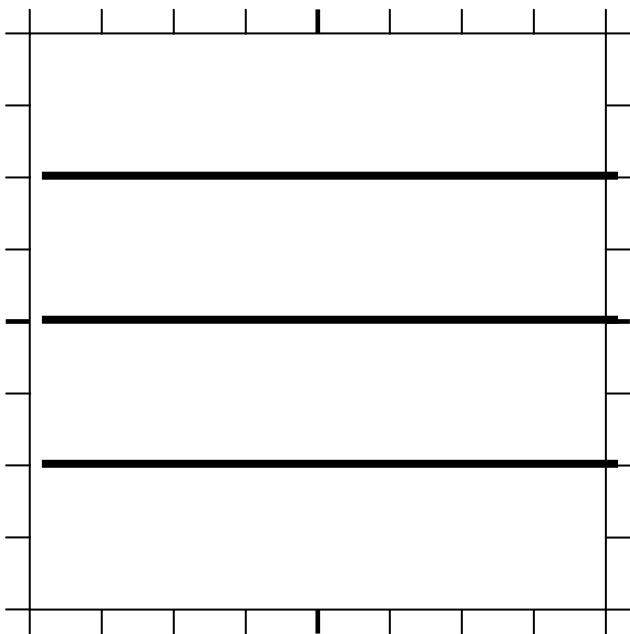
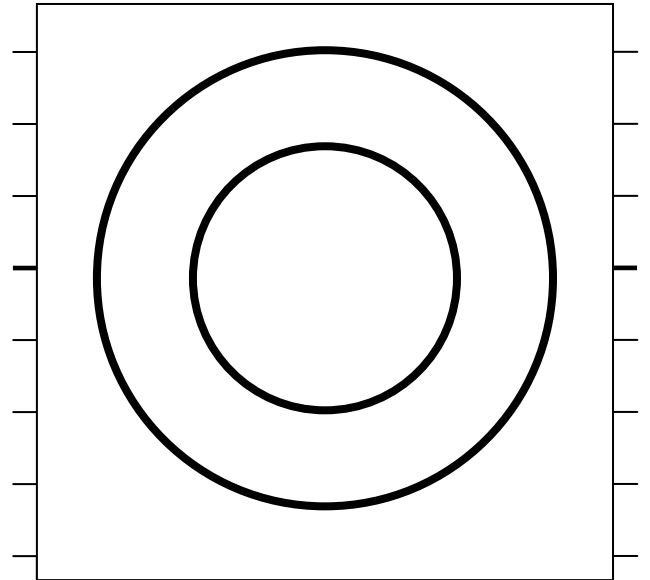
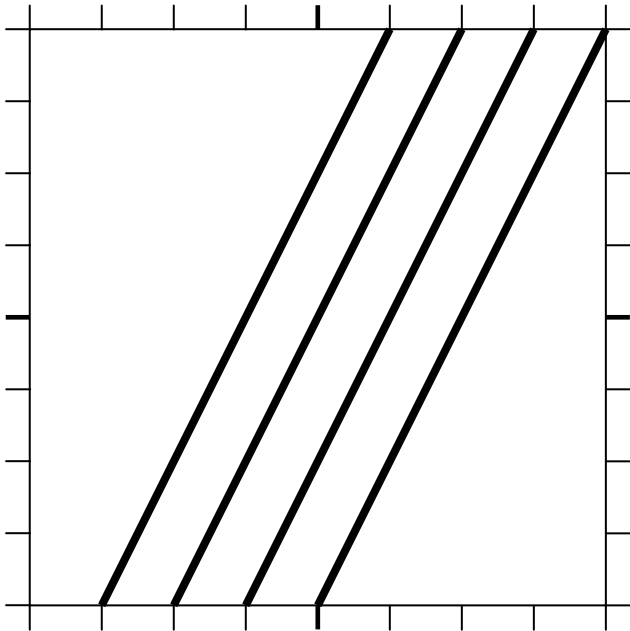
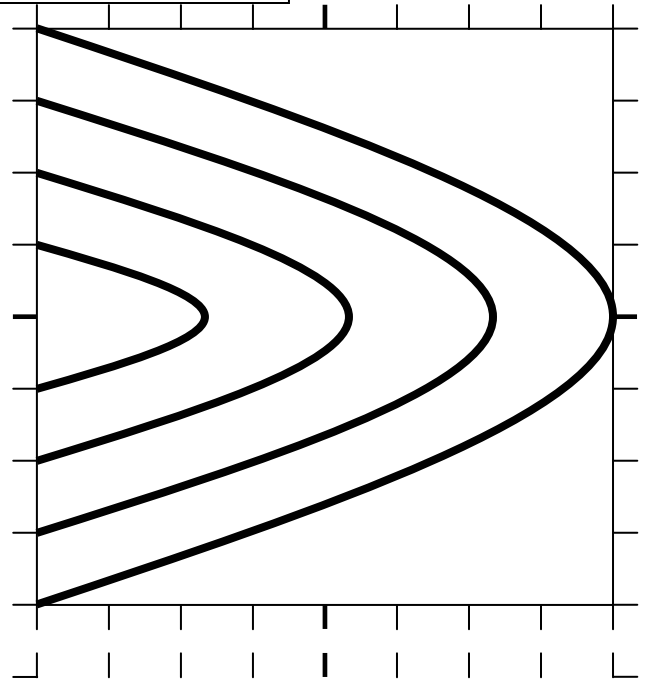
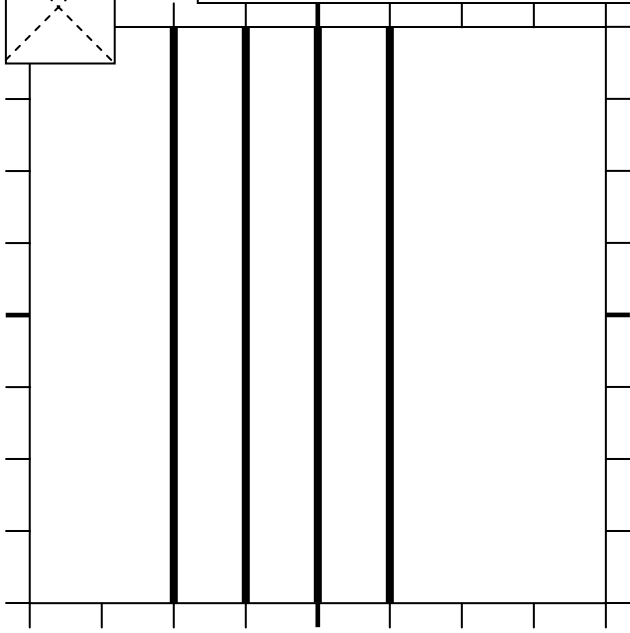
---

---

---

---

A1t2 – Gráficas para Visor espacio-tempo



## Explicación de las Fichas

**A1t1** - Visualización de las LÍNEAS en las Gráficas Espacio/Tiempo

**A1t2** – Gráficas para Visor espacio-tiempo



### Actividad de APLICACIÓN

Estas gráficas constituyen una actividad de aplicación práctica del Visor e-t construido anteriormente.

La ficha A1t1 (Visualización de gráficas e-t) permite a los alumnos comprobar sus ideas sobre el espacio-tiempo y, sobre todo, su capacidad de interpretar este tipo de gráficas.

Los casos “c” y “d” son especialmente interesantes, puesto que en el primero suelen aparecer expresiones como “se mueve en el espacio pero no en el tiempo”, y en el segundo acuden a ideas de “circularidad”, “ciclo”, etc.

Una interpretación más correcta del caso “c” nos llevaría a contemplar la imposibilidad física de que un móvil describa dicha línea, puesto que debería estar al mismo tiempo en todas partes, algo que, en cualquier caso, sólo podría hacer Dios.

El caso “d” nos puede llevar a hablar de las gráficas en las que aparecen bucles de materia-antimateria con cierta semejanza a la figura representada (una interpretación de la antimateria sería considerarla como materia viajando hacia atrás en el tiempo, cerrando así el bucle). De cualquier forma, conviene resaltar la interpretación correcta, en la que dos partículas se crean en un punto y vuelven a juntarse para desaparecer un cierto tiempo más tarde.

Conviene animarlos a expresar todas sus ideas de la forma más clara posible antes de usar el visor, pues de este modo podrán ser más conscientes de las dificultades que puedan tener y, por lo tanto, de la necesidad de superarlas.

La siguiente ficha (A1t2, gráficas para el visor e-t), constituye el complemento de la anterior, y con la misma se pretende, por un lado, comprobar la adecuación de sus predicciones y, al mismo tiempo, observar el funcionamiento del visor e-t antes preparado.



## A2p1 - Práctica: EQUILIBRIO DE MASAS E CDM (descripción)

### MATERIAIS:

-Panca didáctica, -Xogo de pesas e 2 portapesas, -Dinamómetro, -Regra

### PROCEDEMENTO:

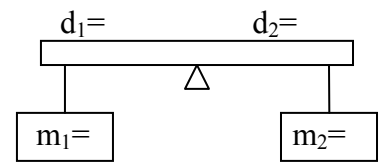
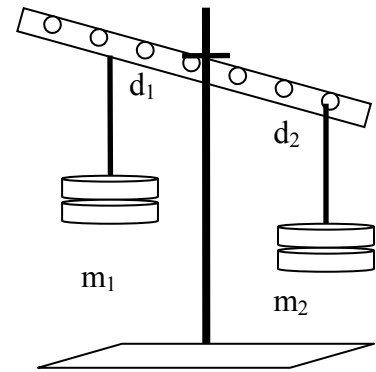
Imos comprobar en que consiste o equilibrio de masas. Para elo, sitúa a panca didáctica na variña, como na figura:

Decimos que hai equilibrio cando a variña está pendurada directamente polo centro de masas (cdm) do sistema de masas que soporta.

Cando isto non acontece, a variña está desequilibrada, e xira ata que o cdm se sitúa directamente por debaixo do punto de sustentación, permanecendo entón vertical.

Comproba que, se as masas son iguais (p.ex. de 100g cada unha) e a variña está pendurada do seu punto central, temos unha posición de equilibrio:

Podemos desequilibrar o sistema mediante un peso adicional ou variando o punto de sustentación. En cada caso, podemos restablecer o equilibrio mediante unha forza compensatoria (dinamómetro), ou desprazando o punto de sustentación.

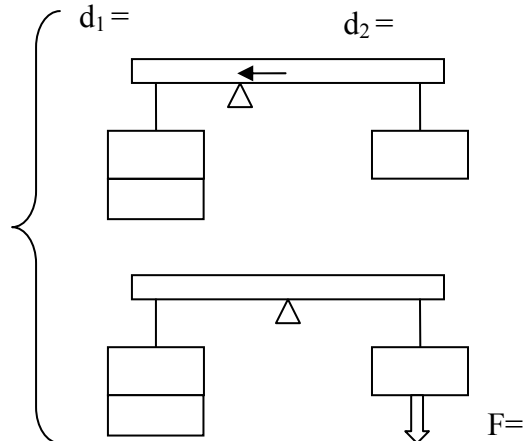
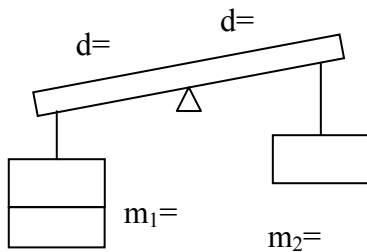


### -Desequilibrio de masas:

Coloca unha pesa adicional no soporte esquerdo.

Anota os valores ( $d$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ) na figura inferior.

Reequilibra o sistema das dúas formas (figuras da dereita), e anota os valores en cada caso.

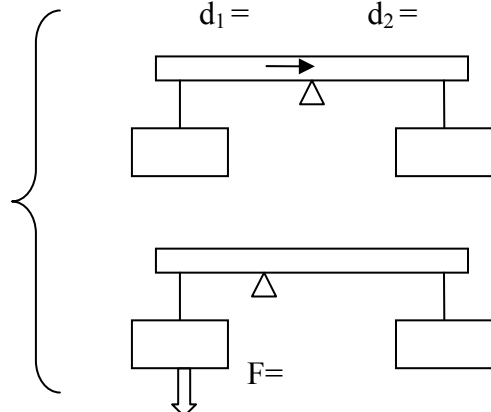
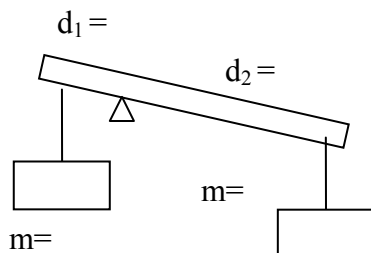


### -Desequilibrio de posición:

Despraza o punto de sustentación para a esquerda..

Anota os valores ( $m$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ) na figura inferior.

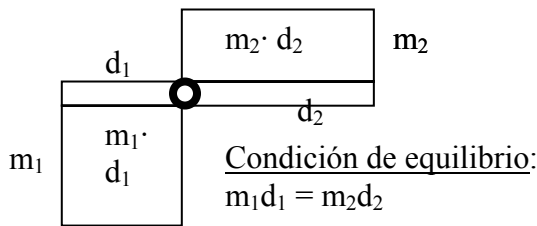
Reequilibra o sistema das dúas formas (figuras da dereita), e anota os valores en cada caso.



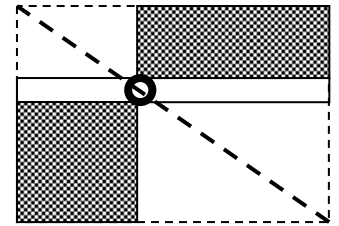


**A2p2 - Práctica: EQUILIBRIO DE MASAS E CDM (información gráfica)**

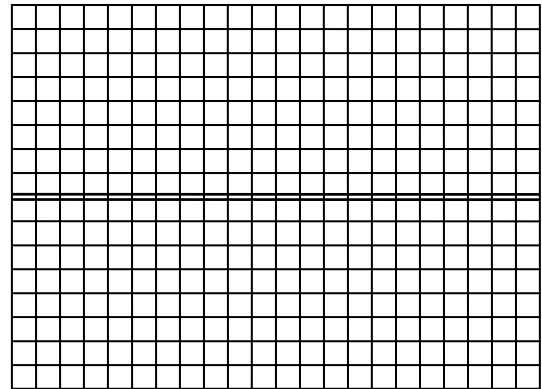
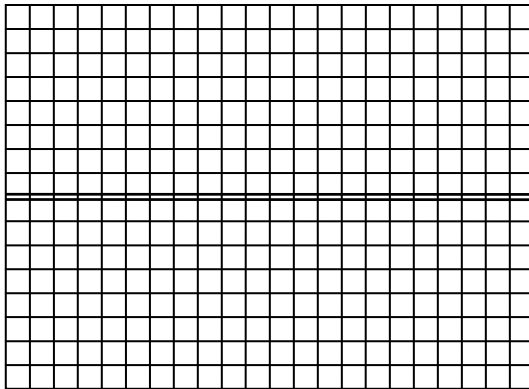
A condición para que exista equilibrio pódese visualizar nos seguintes diagramas:



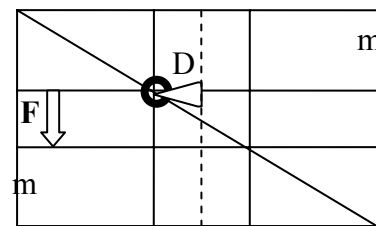
Para localizar o punto de equilibrio de forma gráfica, construímos unha figura como a da dereita:



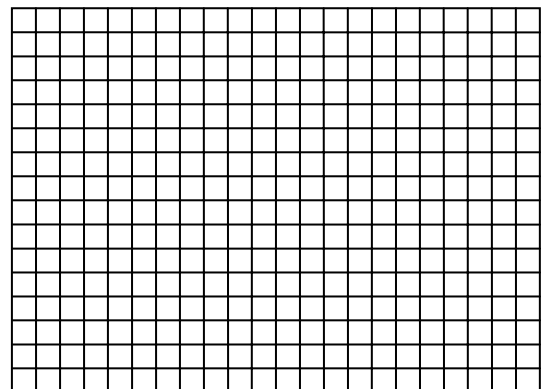
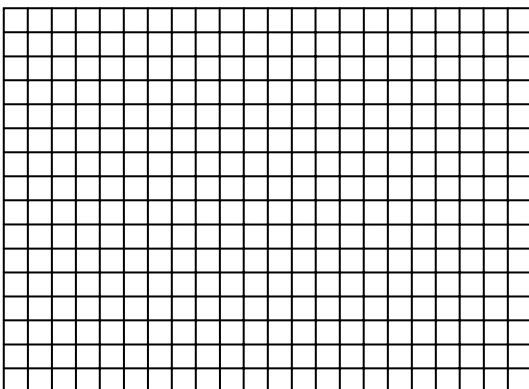
Representa nos seguintes diagramas as 2 situacións da práctica nas que o pto. de equilibrio estaba desprazado do centro, e comproba a concordancia co observado:



De forma alternativa, podemos representar gráficamente a relación entre o desprazamento do pto de equilibrio respecto do centro,  $D$ , e a forza (ou masa) desequilibrante,  $F$ :  
 O ancho do rectángulo representa a lonxitude total da varíña, e o alto é a suma de masas e forzas.



Representa nas gráficas inferiores as mesmas situacións de desequilibrio de antes, dacordo con este punto de vista alternativo (que relaciona directamente  $F$  con  $D$ ):



Tendo en conta os casos nos que se restablece o equilibrio co dinamómetro, poderíamos dicir que existe unha equivalencia entre masas e forzas? \_\_\_\_\_

Cal é a equivalencia cando a forza se expresa en N?  $F =$  \_\_\_\_\_

E cando a forza se expresa en pondios?  $F =$  \_\_\_\_\_

## Explicación de las Fichas

**A2p1** - Práctica: EQUILIBRIO DE MASAS Y CDM (descripción)

**A2p2** - Práctica: EQUILIBRIO DE MASAS Y CDM (información gráfica)



### Actividad de INDAGACIÓN

Se presenta aquí una nueva actividad práctica muy sencilla de llevar a cabo en el laboratorio con las palancas didácticas existentes en los equipos de Mecánica de los centros de Secundaria.

La razón de traer aquí esta actividad es la siguiente:

Para poder interpretar las gráficas correspondientes a la relación entre materia y energía, es necesario poder interpretar las condiciones de equilibrio de masas en el caso estático (palancas) para después aplicarlo al dinámico (choques).

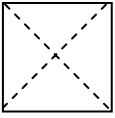
Se puede ver que la actividad enfatiza los siguientes aspectos:

Las ideas de “equilibrio”, “centro de equilibrio”, “desequilibrio” y “desplazamiento del centro debido a un desequilibrio introducido”.

Estas ideas tienen una correspondencia clara en las gráficas de la ficha de trabajo, en las que se comienza mostrando la conocida ley de las palancas como relación de equilibrio, para acto seguido darle una interpretación gráfica operativa, en la cual se encuentra el punto de reequilibrio mediante una construcción que será de utilidad posteriormente.

Finalmente, se introduce en concepto de “equivalencia” entre magnitudes dispares como “fuerza” y “masa”, relacionándolas como un cambio de unidades. Conviene recalcar que este tratamiento sólo es posible si el campo gravitatorio permanece constante, es decir, sobre la superficie terrestre y de un modo aproximado.

La utilidad de esta idea es que nos va a permitir hacer plausible posteriormente la equivalencia entre masa y energía (esta, sí, totalmente “real” de acuerdo a la Teoría de la Relatividad, según la famosa fórmula de Einstein  $E = mc^2$ ).



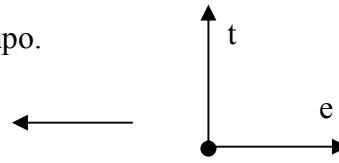
## A2i - INFORMACIÓN SOBRE O MOVIMIENTO NAS GRÁFICAS Espacio/Tempo

### DESCRIPCIÓN:

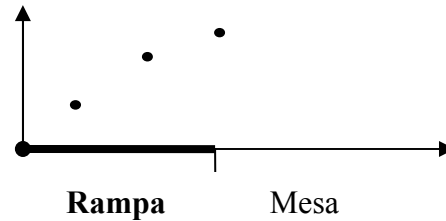
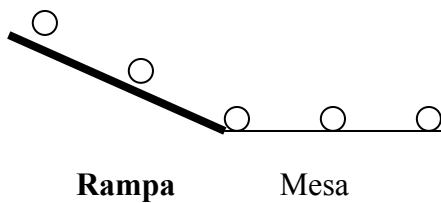
-Eixe horizontal: espacio

-Eixe vertical : tempo.

UNIDADES:	e	t	v	a
SI	m	s	m/s	m/s <sup>2</sup>
outras	km, cm	h	km/h	cm/s <sup>2</sup>



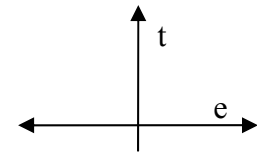
Debes ter en conta que se representa tan só UNHA dimensión espacial (como podería ser a vía dun tren, unha estrada ou unha rampa sobre e a mesa do laboratorio). Aínda que a rampa estea inclinada, o espacio percorrido nela represéntase en horizontal.



### INTERPRETACIÓN DE GRÁFICAS espacio / tempo

En xeral, estas gráficas pódense extender nos dous sentidos, con valores negativos tanto para o espacio como para o tempo.

Existe unha diferença importante: o espacio pódese percorrer por igual en dous sentidos (cara a dereita ou cara a esquerda), mais o tempo pode transcurrir tan só nun sentido (representado cara arriba nestas gráficas):

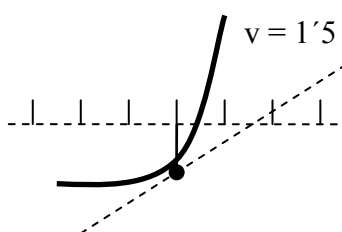
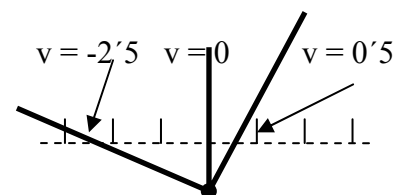
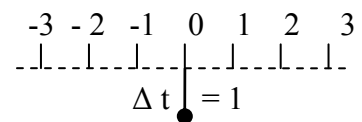


O estado de movemento dos obxectos puntuais represéntase nestas gráficas mediante LIÑAS (chamadas “liñas de universo”). Os PUNTOS da gráfica son “vistas” ou “fotos” dun obxecto nun determinado instante (que chamaremos “sucesos”).

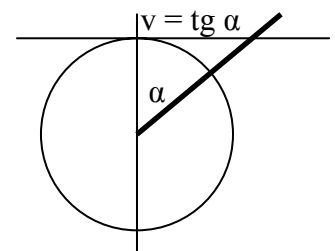
Para medir VELOCIDADES, construiremos un “velocímetro” da seguinte forma:

O velocímetro constrúese sobre o punto no que queremos medir a velocidade, que ven dada pola marca na escala horizontal:  $v = e/t = e/1$

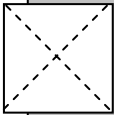
No caso de que a liña teña curvatura, débese trazar unha recta tanxente á curva nese punto, e medir a súa velocidade (chámase “velocidade instantánea”)



A velocidade identifícase coa inclinación da recta respecto do repouso (a tanxente trigonométrica do ángulo que forma a recta coa vertical):



Explicación de la Ficha  
**A2i - INFORMACIÓN SOBRE EL MOVIMIENTO EN LAS  
GRÁFICAS Espacio/Tiempo**



Actividad de ESTRUCTURACIÓN

En esta actividad se intenta aportar una información que contribuya a estructurar las ideas del alumnado de acuerdo con lo que es deseable desde la ciencia escolar, en especial desde una perspectiva de construcción visual de las ideas relativistas.

En primer lugar, se resumen los conceptos y magnitudes de mayor relevancia, así como su representación gráfica.

Conviene tener en cuenta que en estos diagramas se sitúa el espacio en horizontal y el tiempo en vertical, al contrario de lo que es habitual cuando se representa la velocidad de un móvil de forma gráfica en las aulas.

La razón de esta discrepancia está en que es el convenio usado mayoritariamente en las gráficas relativistas.

Posteriormente, se hace hincapié en la interpretación de las gráficas espacio/tiempo para reconocer y medir las magnitudes vistas, en especial el concepto de “velocidad” y su medida de forma gráfica, tanto en movimientos uniformes como acelerados.

La figura resultante permite, en su caso, realizar un aparato (usando una regla o un plástico transparente) para medir velocidades directamente sobre las gráficas espacio-tiempo, una especie de “velocímetro gráfico”



## A2t1 – Interpretación física das gráficas espacio-tempo

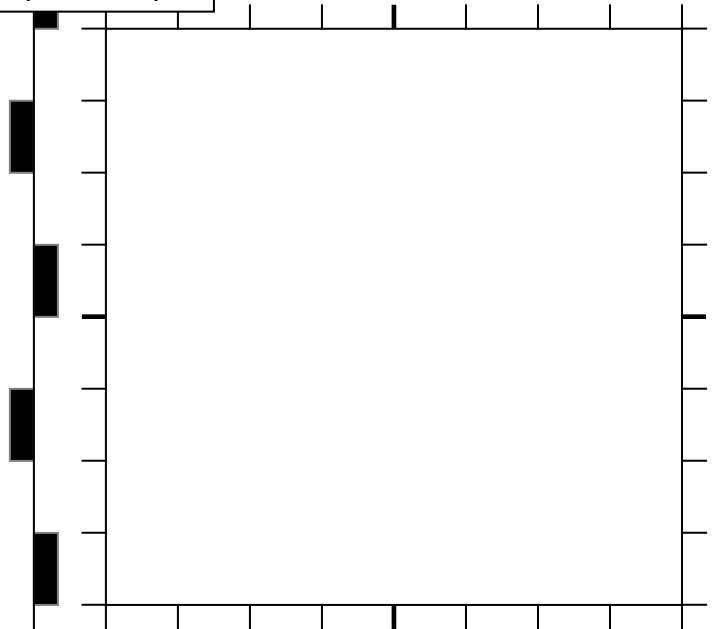
Representa na gráfica e/t da dereita dúas partículas movéndose en sentidos opostos e que se desintegran, desaparecendo, no momento do choque.

Qué acontece coa masa das partículas?

Pensas que é posible transformar a masa en enerxía?

Como?

Que tipo de enerxía se produciría?



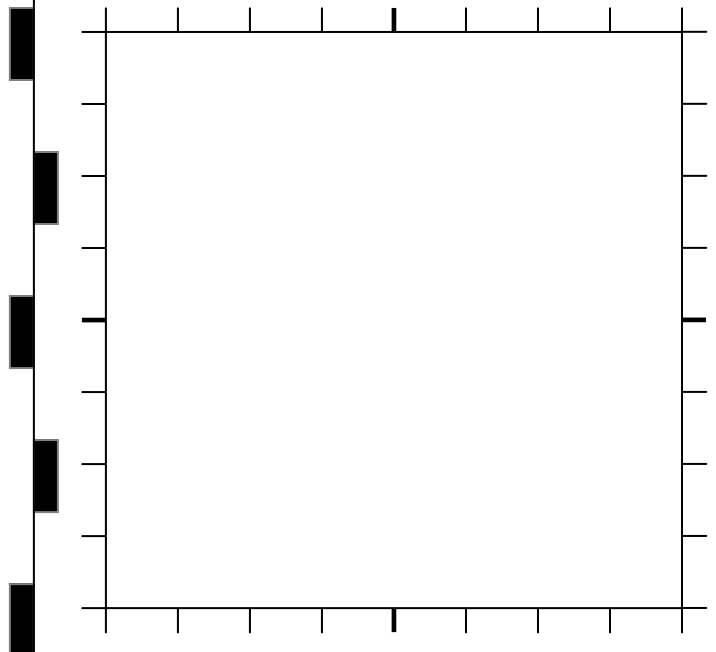
Representa na gráfica da dereita unha partícula que parte do repouso e acelera de tal xeito que acada unha velocidade infinita antes de saír do cadro e/t.

Pensas que isto sería posible?

Por qué?

Existe algún límite para a inclinación que se lle pode dar a unha liña como a que trazaches?

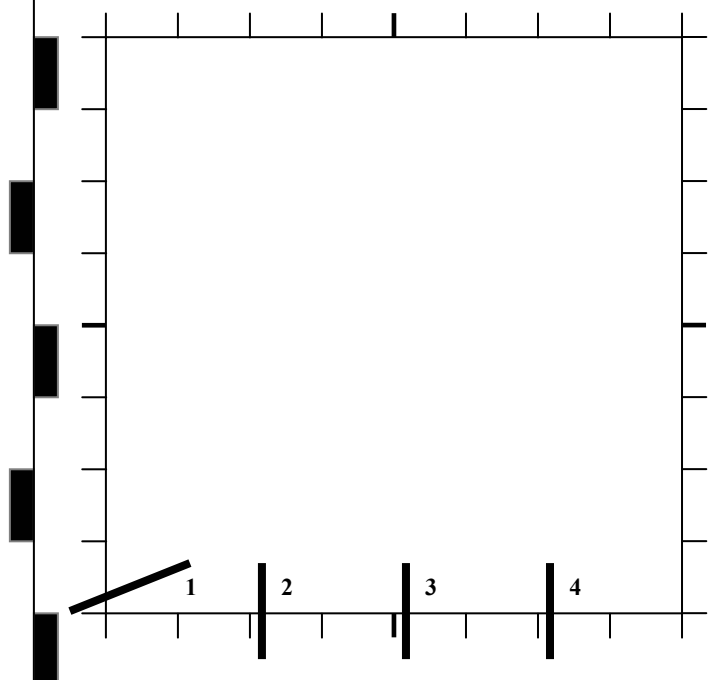
Cal sería?



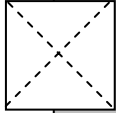
Na gráfica da dereita represéntase o instante inicial da seguinte colisión múltiple: Unha partícula (1) ven dende a esquerda e colisiona con outra (2) que está en repouso. Quedan unidas, e van a colisionar cunha terceira (3) e o conxunto finalmente coa cuarta (4). As partículas son iguais.

Podería ser qu a  $E_c$  da 1ª partícula se chegase a transformar nun aumento de masa do conxunto?

Por que?



**Explicación de la Ficha**  
**A2t1 – Interpretación física de las gráficas espacio-tiempo**



**Actividad de APLICACIÓN**

Una vez incorporados los conceptos y magnitudes de relevancia en las gráficas espacio-tiempo, se procede a una actividad en la cual se ponen a prueba las ideas adquiridas con una serie de supuestos prácticos (en este caso, se presentan tres que tienen una relación directa con alguna actividad posterior, pero de la misma forma se podrían plantear otros casos análogos).

En todos ellos, el visor espacio-tiempo ofrece la posibilidad de contrastar directamente y de forma autónoma la bondad de las gráficas trazadas.

En cada caso, se realizan al final unas preguntas que sirven para averiguar las ideas previas sobre conceptos relativistas que serán manejados posteriormente.

Los tres casos son:

1. Choque inelástico (e ideas previas sobre equivalencia masa/energía)
2. Aceleración ilimitada (e ideas previas sobre límites de velocidad)
3. Colisión múltiple con desaparición aparente de la energía cinética (e ideas previas sobre la posibilidad de transformar energía en masa)



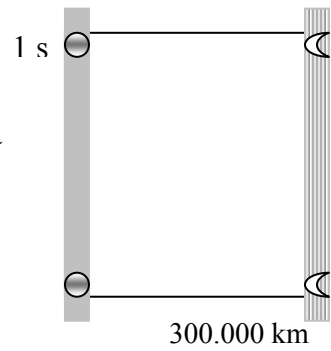
**A2t2 - SISTEMA DE REFERENCIA TERRA / LÚA (repouso)**

Imos traballar cun sistema de referencia ( S R ) moi especial: o que forma a Terra coa Lúa .

Para elo, imos facer unha aproximación :

Supoñeremos que a distancia entre ambos corpos celestes é de 300.000 km ( na realidade é algo maior) . Esa é a distancia que percorre a luz en 1 s.

- a) A figura en forma de cadrado representa en horizontal a distancia Terra/ Lúa e en vertical o tempo de 1 s. Traza dúas liñas que correspondan a 2 raios de luz (un sae da Terra cara a Lúa , e ao mesmo tempo outro da Lúa cara a Terra).



Existe algunha posibilidade de que non se crucen no centro?

Explicao.

- b) Supón que existe un elemento ( que chamaremos Minkowskio) cuos átomos se desintegran ao cabo de 1 s de crearse. Representa 2 átomos de Minkowskio que son creados ao mesmo tempo na Terra e na Lúa, permanecendo en repouso..

Existe algunha posibilidade de que non se desintegren ao mesmo tempo?

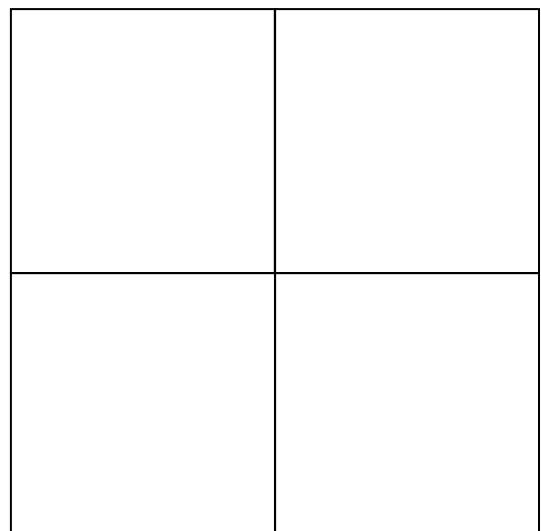
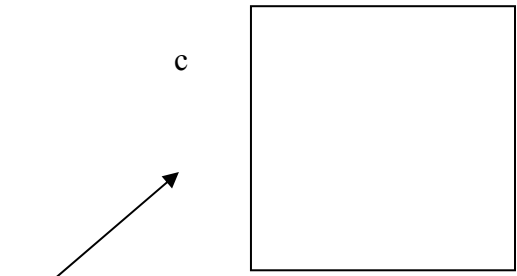
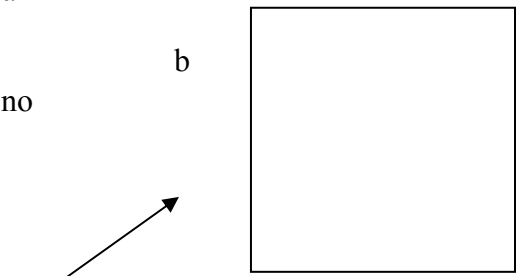
Explicao.

- c) Unha nave diríxese dende a Lúa cara a Terra , a unha velocidade de 200.000 km/s , e ao mesmo tempo outra igual vai dende a Terra cara a Lúa á mesma velocidade. Cando chocan, quedan unidas . Representao no diagrama.

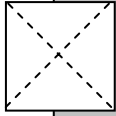
Podería suceder que o conxunto se desprazase despois do choque?

Explicao.

- d) Unha xigantesca nave espacial alieníxena mide 200.000 km de lonxitude , e viaxa da Terra á Lúa a 200.000 km/s. Representaa dende que a cabina pasa pola Terra ata que a cola chega á Lúa.



Explicación de la Ficha  
**A2t2** - SISTEMA DE REFERENCIA TIERRA / LUNA (reposo)



Actividad de APLICACIÓN

Esta actividad, como aplicación, podría considerarse una continuación de la anterior (aunque sin el recurso a las gráficas que permiten ser contrastadas con el visor).

En realidad, aquí se está presentando un sistema de referencia muy especial, que usaremos varias veces a lo largo de las unidades posteriores, y que denominamos “Sistema Tierra-Luna”.

Se propone al alumnado la representación gráfica de las siguientes situaciones:

- Rayos de luz opuestos (que servirá en su momento para construir la transformación de Lorentz). En realidad, serían las líneas correspondientes a dos fotones, no la representación de los rayos.
- Medida de intervalos temporales (que servirá para analizar la dilatación temporal), Para ello, se introduce un elemento ficticio, como homenaje a Minkowski, el científico que demostró la posibilidad de interpretar toda la teoría de la Relatividad de una forma geométrica.
- Choque inelástico (para analizar después la equivalencia entre masa y energía)
- Medida de longitudes (que servirá para analizar la contracción espacial relativista)

Se usa una escala de medidas muy particular:

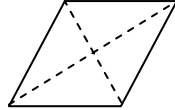
Unidad de tiempo: 1 segundo

Unidad de espacio: 300.000 km (algo menos que la distancia entre la Tierra y la Luna).

Con estas unidades, la velocidad de la luz toma un valor  $c = 1$ , lo que facilita enormemente la interpretación de las gráficas espacio-tiempo relativistas.

# Galileo

## Visualización de la Relatividad clásica



Esta Unidad Didáctica se dedica a la presentación de la teoría de la relatividad clásica como proceso mental previo necesario para una comprensión posterior de la teoría de la Relatividad Especial.

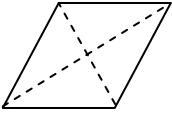
El científico italiano Galileo Galilei fue el iniciador de la corriente de pensamiento que pretendió adaptar los esquemas de pensamiento a una nueva evidencia física según la cual la Tierra (y con ella el ser humano) ya no eran el centro del Universo como podía parecer a simple vista, sino que nuestro mundo era uno más de los numerosos planetas existentes, y como todos ellos tenía sus propios movimientos. Para poder llegar a aceptar esta idea, era necesario liberar la mente de la idea aristotélica de que todo tenía un lugar preestablecido en el Universo, que constituía así un lugar de referencia absoluto con centro en la Tierra.

Son bien sabidas las resistencias que encontró Galileo para que sus ideas fueran aceptadas, y no sería de extrañar que las mentes de nuestros alumnos presentaran algún tipo de resistencia semejante.

Para poder entender los conceptos de la Relatividad Especial (R.E.), sin embargo, es preciso tener una intuición previa formada en relación con la Relatividad Clásica, puesto que los conceptos fundamentales manejados son los mismos, y de hecho coinciden en la mayoría de las situaciones de la vida cotidiana. La diferencia aparece cuando nos aproximamos a la velocidad de la luz, o bien cuando se produce un desequilibrio en determinadas situaciones debido a la existencia de una velocidad relativa cuyo efecto se cancelaba en la Relatividad clásica pero no así en la R.E. En algunos casos (electromagnetismo, energía nuclear) el efecto de estos desequilibrios puede ser verdaderamente notable.

Procederemos a visualizar la teoría clásica de la relatividad en los mismos diagramas espacio-temporales con los que hemos trabajado en la Unidad anterior, pero introduciendo una modificación en los mismos para acomodarlos a la nueva realidad.

Desde un punto de vista geométrico, esta modificación consiste en convertir el cuadrado espacio-temporal en que definíamos las magnitudes de espacio, tiempo y velocidad en un paralelogramo, figura que usaremos a lo largo de toda esta Unidad como elemento visual identificador.



## Gd - DEBATE sobre MOVIMENTO RELATIVO

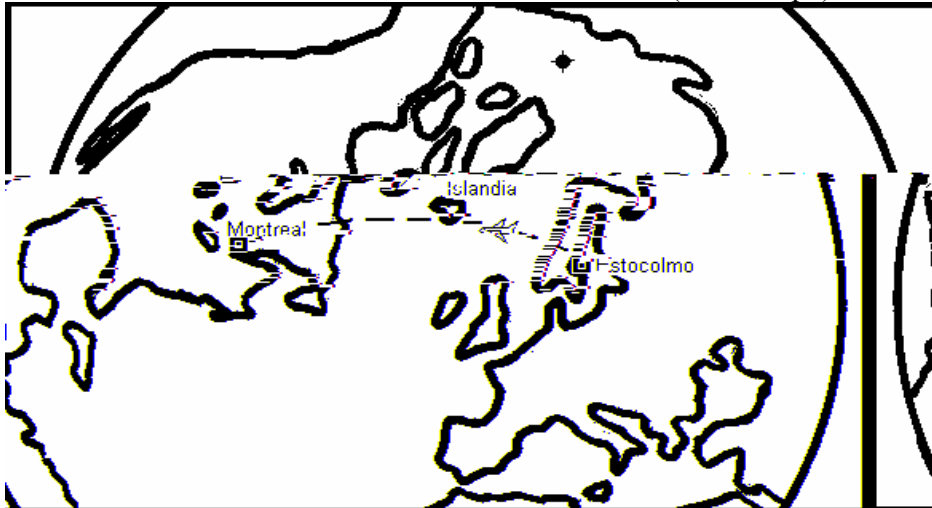
TRABALLO INDIVIDUAL: Lé detidamente o seguinte texto e responde ás cuestións:

### 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.

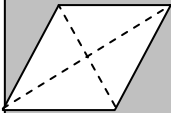
Pensas que é posible que isto suceda?

Como explicarías cientificamente este fenómeno?

Fai por detrás un 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:

Explicación de la Ficha  
Gd - DEBATE sobre MOVIMIENTO RELATIVO



Actividad de EXPLORACIÓN inicial

La mecánica recomendada para estos debates está explicada en las páginas de la Introducción.  
Se indican a continuación algunos ejemplos de frases que pueden ser usadas a conveniencia por el profesor/a para animar u orientar las discusiones del alumnado:

.....

Profesor: Agora vouvos ler un texto breve. Prestade atención, pois pode ser que algo do que lea vos axude a argumentar mellor as vosas ideas:

John e Betty viaxan nun dos voos do anuncio anterior. Cando están contemplando a posta de Sol interminable, fan os seguintes comentarios:

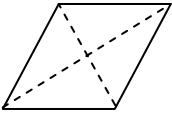
John di: *Fíxate, Betty, o avión voa tan rápido que consegue que o Sol non se dea posto por detrás do mar.*

Betty responde: *Non, o Sol non se move. En realidade, o que sucede é que a Terra está rotando por debaixo de nós, que estamos parados no espacio.*

John, sorprendido, contéstalle. *“Como que estamos parados, se os motores do avión están funcionando?”*

Ti que opinas? Quen ten razón e por qué? Quen está equivocado e por qué?

*-Se estou nun globo aerostático e non hai vento, podo dicir que me movo (coa rotación terrestre) ou non?*



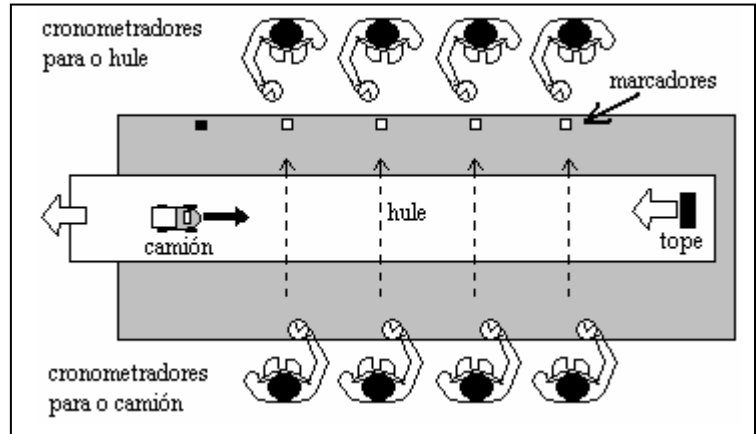
## Gp1 - PRÁCTICA MOVIMIENTO RELATIVO (colectiva)

### MATERIAIS:

- Camión a pilas (ou xoguite similar, que se desprace lento en liña recta)
- Metro, Cronómetros
- Tira de hule longo
- Marcadores (desprazables sobre a mesa sen tocar o hule)

### PROCEDEMENTO:

- Colocar a tira de hule ao longo da mesa.



- Situair o camión sobre un extremo do hule, varios marcadores sobre a mesa (separados a 25 cm de distancia un do outro), e un tope de tela sobre o hule a certa distancia do último marcador.

Distribuir as seguintes tarefas entre os alumnos:

- Cronometradores do camión: miden o tempo que transcorre desde que o camión comeza a moverse ata que chega ao seu marcador.
  - Cronometradores do hule: miden o tempo que transcorre desde que o tope de tela pasa por diante do primeiro marcador (o cronometrador correspondente avisa do momento), ata que pasa por diante do seu marcador.
  - desprazador (tira do hule para a dereita),
  - contador de segundos (para que o desprazador o faga de xeito uniforme),
  - auxiliares (anotador, calculador, fotógrafo, cámara de video, etc)
- Anota a tarefa que che foi asignada:

Fanse 3 probas:

- 1-Co hule en repouso (miden só os cronometradores do camión)
- 2-Co hule en movemento (aproximadamente á metade de velocidade do camión)
- 3-Tirando do hule de tal xeito que o camión non avance en relación coa mesa.

En cada caso, anótanse os tempos que mediu cada cronometrador en relación coas distancias correspondentes:

Copia as táboas completas pola parte traseira da ficha de traballo.

Constrúe as seguintes gráficas (axusta as escalas previamente). Marca os puntos e úneos con liñas rectas (arriba: hule parado, abaixo: camión parado)

-Na parte esquerda, cadriculada: SR

1º: Gráficas do camión (partindo da esquina inferior esquerda, onde está debuxado)

2º: Gráficas do hule (partindo do outro extremo, o inferior dereito)

-Na parte dereita (o cadrado indicado é o SR cadriculado, reducido á metade)

3º: Liñas do hule (poñer a letra H)

4º: Outra liña do hule (a que corresponde co lado esquerdo do cadrado inicial)

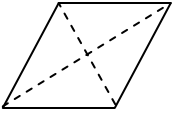
5º: Completar o cadrilátero coa "tapa" entre as 2 liñas H

6º: Liña C na gráfica superior: marcar o punto P de contacto coa liña H

7º: Reproducir o punto P nas dúas figuras restantes, comparando co cadrado superior.

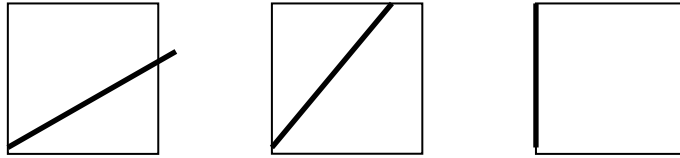
8º: Reconstruír as liñas C a partir dos puntos P obtidos no paso 7º (C "teóricas")

9º: Copia as liñas C das restantes cadrículas, e compáraas coas liñas teóricas do paso 8º

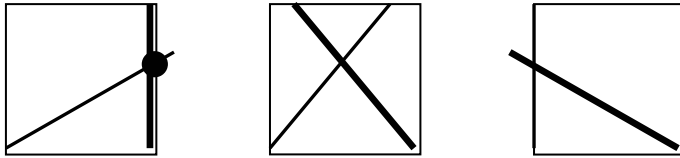


**Gp2 - PRÁCTICA MOVIMIENTO RELATIVO: instrucciones adicionais**

1º: Gráficas C (Camión): **Hule parado**      **Hule lento**      **Hule: detén o camión**

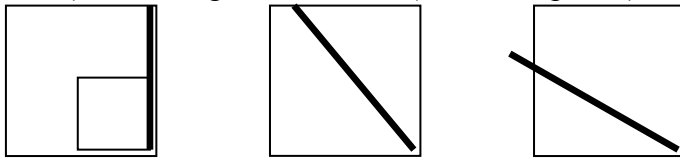


2º: Gráficas H (Hule):

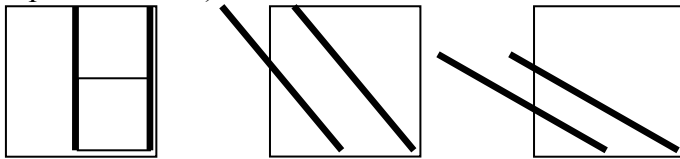


**Construcción do Sistema de Referencia**

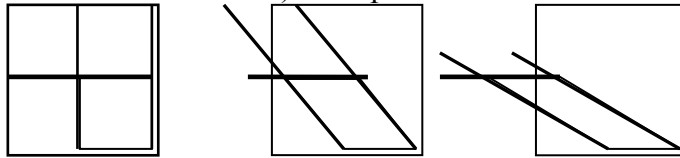
3º: Liñas H (copiar as anteriores) Cadrado gris: SR inicial (Hule en repouso)



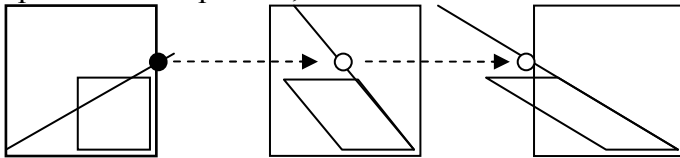
4º: Liñas paralelas (segundo punto do hule)



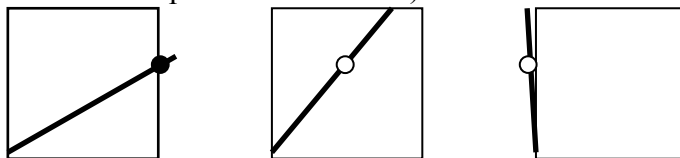
5º: “tapa” (tempo simultáneo e absoluto: Galileo): Completa as transformacións



6º: Puntos de contacto (recuperamos o do paso 2º, e levamos aos SR transformados)

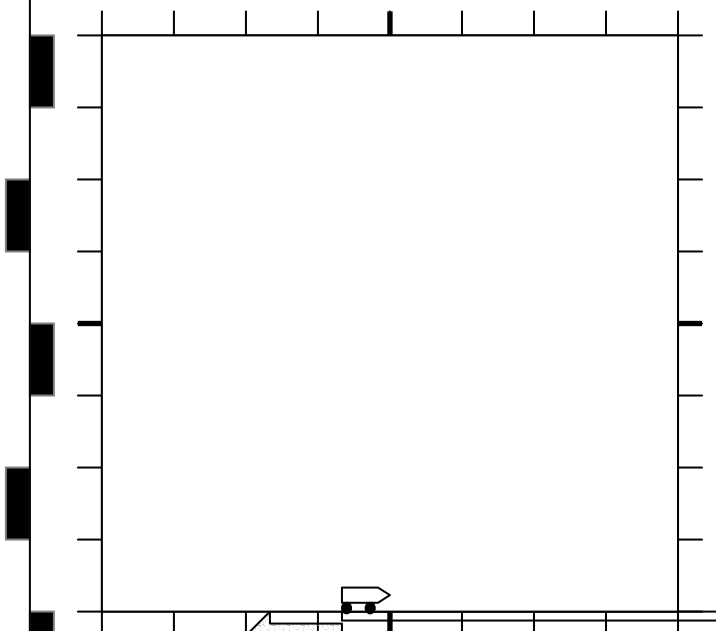
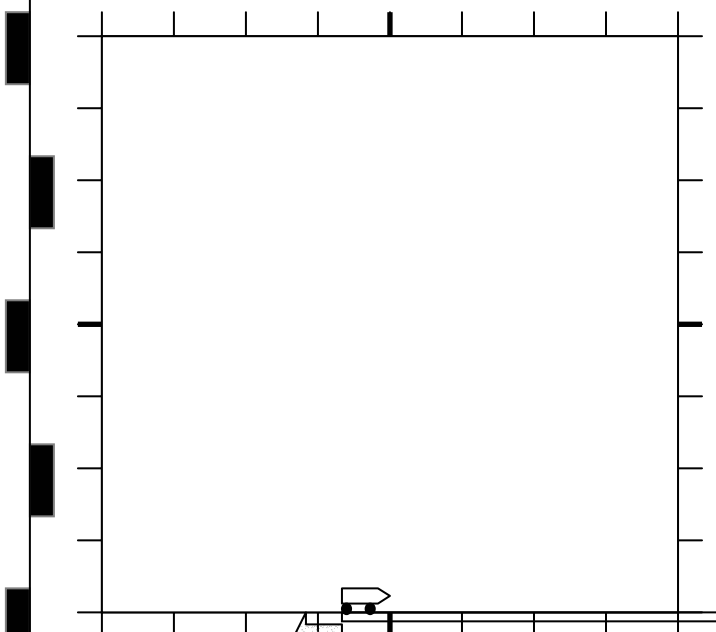
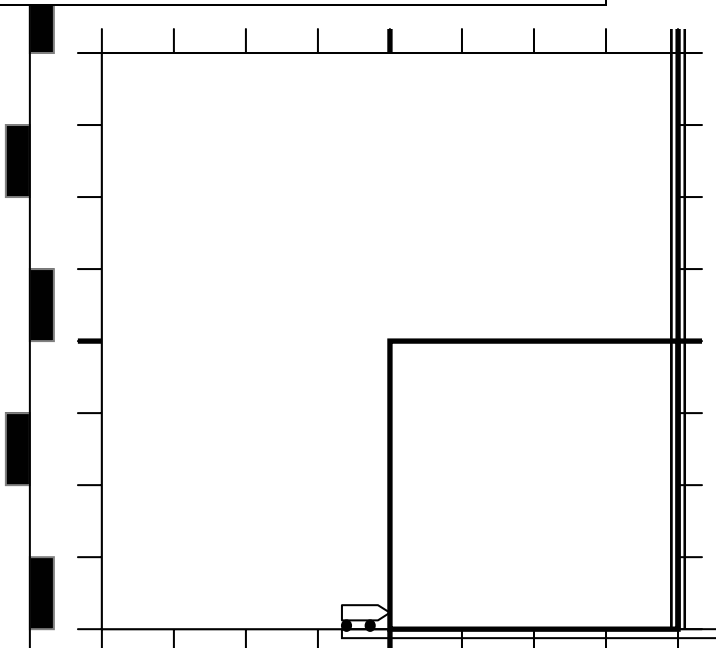
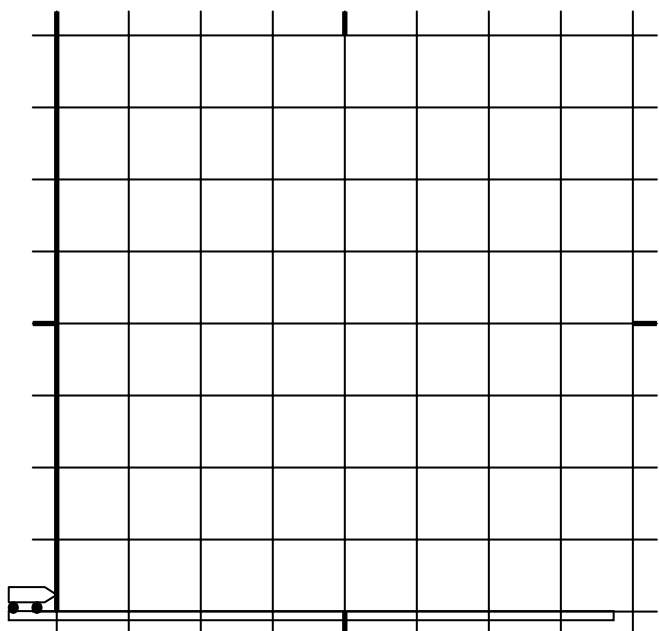
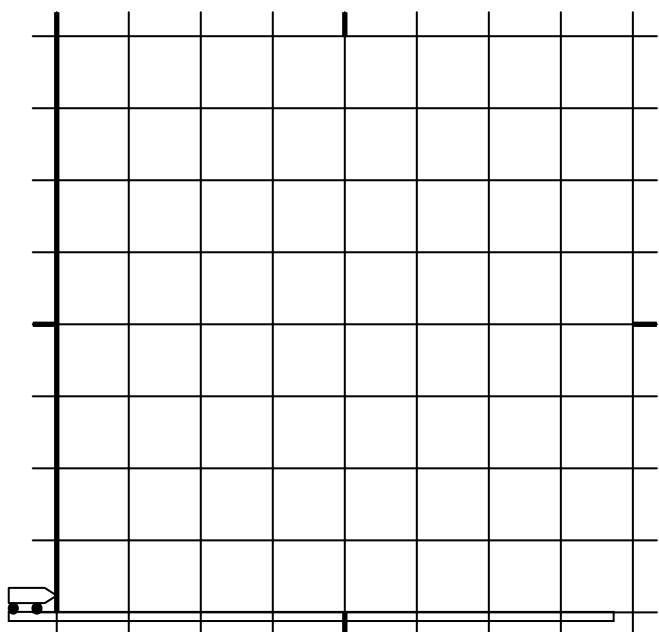
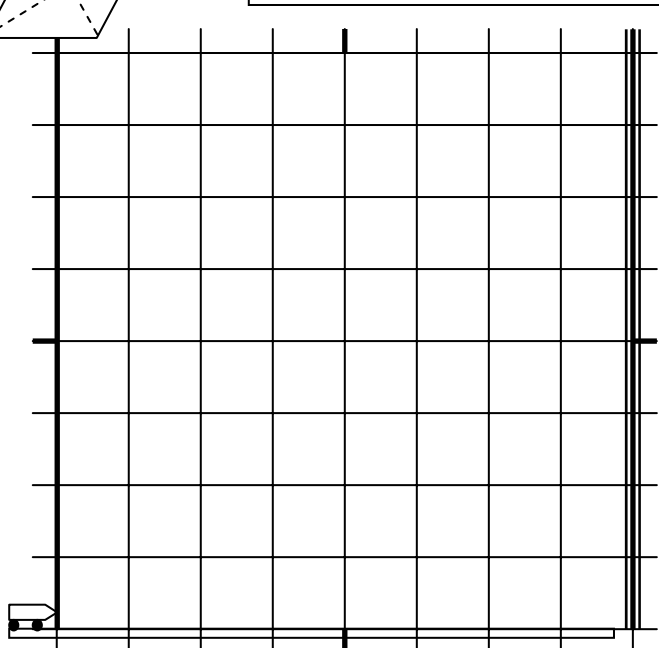
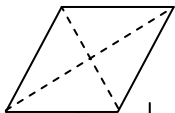


7º: Novas liñas C (unindo as orixes cos puntos de contacto)



8º: Coinciden coas C do apartado 1º? \_\_\_\_\_  
Por qué?

Gp3 - PRÁCTICA MOVIMIENTO RELATIVO: Resultados gráficos

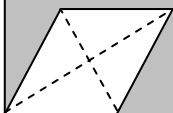


## Explicación de las Fichas

**Gp1** - PRÁCTICA MOVIMIENTO RELATIVO (colectiva)

**Gp2** - PRÁCTICA MOVIMIENTO RELATIVO: instrucciones adicionales

**Gp3** - PRÁCTICA MOVIMIENTO RELATIVO: Resultados gráficos



### Actividad de INDAGACIÓN

Las tres fichas anteriores corresponden a una práctica en la cual se pretende que el alumnado sea capaz de construir por sí mismo la forma geométrica de la transformación de Sistema de Referencia de la Relatividad Clásica (Galileo), a partir de medidas tomadas de forma colectiva.

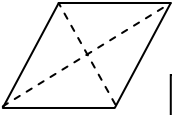
La razón de hacer una práctica colectiva está en que, de esa forma, se reproducen algunas de las características de un Sistema de Referencia, como son la de disponer de una serie de relojes sincronizados y situados a intervalos regulares.

La puesta en común de los resultados colectivos es la que va a permitir obtener unas conclusiones de utilidad, por eso es muy importante que el profesor controle la corrección de las medidas y de la colocación en las gráficas.

El SR así formado corresponde con la mesa, y se introduce un nuevo SR que se puede desplazar a lo largo de esta, denominado "Hule".

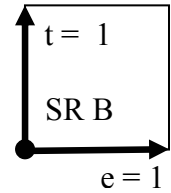
Dado que el movimiento del hule es efectuado de forma manual, también es importante hacer antes algunas pruebas para "calibrar" la velocidad del movimiento y la regularidad del mismo.

La ficha Gp2 contiene unas indicaciones sobre el procedimiento idóneo para construir las transformaciones de SR y comprobar la validez de estas. Para ello, contrastamos la predicción que se hace en el paso 7º de la velocidad con el camión en los dos casos en que el hule se mueve con los valores obtenidos de forma experimental (paso 1), todo ello de forma gráfica y visual.



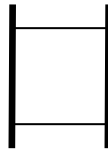
**G1i - INFORMACIÓN SOBRE a Transformación de GALILEO - Construcción**

a) Xeral : Se temos un SR.B que se move con velocidade  $v$  respecto doutro SR.A, e queremos representar neste SR.A o que sucede no SR.B, debemos ter en conta que partimos dun cadrado no SR B (que representa á unidade de lonxitude durante a unidade de tempo):

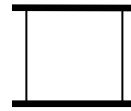


-Os 4 lados dese cadrado pertencen ás seguintes rectas:

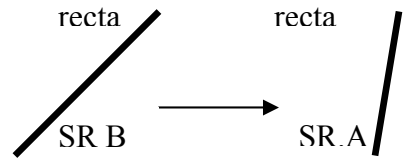
2 rectas verticais (serían os extremos dunha “regla” en repouso)



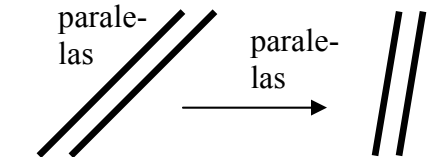
2 rectas horizontais (serían os puntos da regra nos instantes  $t=0$  e  $t=1$ )



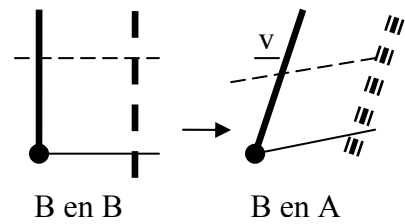
Pola **Lei da Inercia (1ª de Newton)**, en ausencia de forzas os MRU (rectas no  $e/t$ ) consérvanse. Polo tanto, as rectas do SR.B pasan a ser rectas no novo SR.A.



As rectas que son paralelas entre sí no SR.B siguen sendo paralelas no SR.A. Se non o fosen, habería un punto de contacto (choque) nun SR e non o habería no outro, e polo **principio de relatividade** a realidade física ten que ser a mesma en calquera SRI.



As rectas verticais en B transfórmanse en rectas inclinadas vistas dende A. A inclinación ven dada pola velocidade relativa do SR.B ( $v$ ).



-Facemos coincidir as orixes de espacio e tempo nos 2 sistemas. Para iso, sincronizamos a cero os reloxios de A e de B no momento en que as orixes están xuntas.

De todo o anterior, sacamos a conclusión de que o cadrado de  $e/t$  no SR.B transfórmase (visto dende A) nun TRAPEZOIDE que ten o vértice  $(0,0)$  no mesmo punto, e unha inclinación nas “paredes” dada pola velocidade relativa  $v$ .

Queda por determinar a situación da segunda “pared” e dos outros 2 lados (as “bases”).

**b) Construcción da Transformación de Galileo**

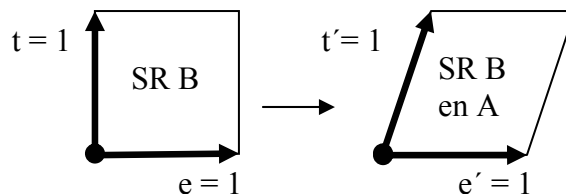
Para ter a forma definitiva da transformación, acudimos á intuición (que non é unha lei física):

-O espacio: Parece de “sentido común” supoñer que unha regra de 1m nun SR tamén medirá 1m en calquera outro SR → a separación das “paredes” non varía.

-O tempo: A intuición dinos que cando o reloxo do SR A marca 1, tamén o marcará o reloxo do SRI → a separación das “bases” tampouco varía.

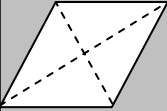
-A simultaneidade: O que sucede de forma simultánea nun SR tamén vai ser (por intuición) simultáneo noutros SR. Isto significa que as rectas horizontais transfórmanse en rectas horizontais.

Como resultado de todo isto, temos que o cadrado do SR B transfórmase nun TRAPEZOIDE HORIZONTAL no SR A.



Esta é a forma xeométrica da Transformación de Galileo entre SRI.

Explicación de la Ficha  
**G1i** - INFORMACIÓN SOBRE la Transformación de  
GALILEO - Construcción



Actividad de ESTRUCTURACIÓN

En esta actividad se presenta la información necesaria para construir por uno mismo la forma geométrica de la transformación de SRI clásica (Galileo).

Para ello, se empieza presentando el SR original como un “cuadrado” (que ya debería poder ser interpretado correctamente por el alumnado después de haber hecho las actividades de la UD “Aristóteles” y posteriores).

A continuación, se van explicando diferentes leyes físicas, por lo tanto fundamentadas en la experiencia (conviene insistir en este carácter frente a las ideas “lógicas” o “intuitivas” que aparecen al final):

-Ley de la inercia: Las rectas continúan siendo rectas (en el e-t!)

-Principio de relatividad: Las paralelas continúan siéndolo al variar de SRI.

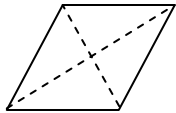
El resultado geométrico combinado de estas dos leyes es que el cuadrado inicial se transforma en un paralelogramo (o, lo que es equivalente, que las transformaciones de SRI son lineales).

.....  
A continuación, se introducen dos axiomas “de sentido común” para completar la forma de la transformación:

-Conservación de las longitudes y de los tiempos.

El resultado final es la forma de la transformación de Galileo: El cuadrado se transforma por mera inclinación paralela de sus lados verticales, permaneciendo los horizontales inalterados excepto la necesaria traslación.

Es fácil ver que la superficie de la figura así creada es la misma que la del cuadrado original, hecho que conviene resaltar puesto que será usado posteriormente.

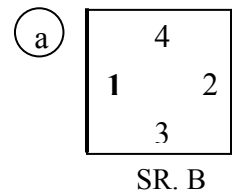


**G1t - DEDUCCIÓN DA TRANSFORMACIÓN DE GALILEO**

Imos tentar deducir a forma xeométrica da transformación do e /t dun sistema de referencia a outro a partir de criterios físicos:

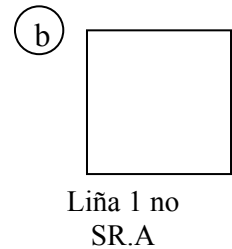
Temos unha regra de 5 m: e un reloxo que mide de 0 s: a 5 s: . Chamámoslle SR.A.

A orixe doutro SR B idéntico ao SR.A móvese cara a dereita cunha velocidade de 0'5 m/s respecto do SR A, e os reloxios de A e B marcan 0 s cando a orixe de B pasa pola orixe de A:



Imos tentar “reconstruír” a forma en que se representará o SR.B no SR.A. Para elo, teremos en conta por separado os seguintes elementos do SR.B (obsérvaos na figura a):

Liña 1 (orixe da regra), liña 2 (extremo), liña 3 (o reloxo de A marca 0 s), e liña 4 (o reloxo marca 5 s).



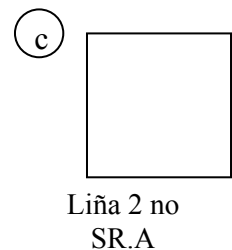
b) Representa no SR.A a liña trazada pola orixe do SR.B (liña 1)

Chámanse SRI (Sistemas de referencia inerciais) os que se moven con MRU entre eles, como os SR A e B. O principio de relatividade di que as leis físicas son as mesmas en distintos SRI.

Dous obxectos que levan a mesma velocidade nun SR nunca chegarán a atoparse.

Pode ser que dous obxectos leven a mesma velocidade no SR.B e velocidades diferentes no SR.A?

Por qué?

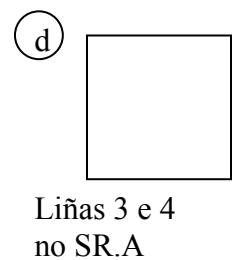


Polo tanto, se dúas liñas son paralelas no SR B, como serán no SR A ?

c) A figura inicial do SR B era un cadrado formado por 4 lados. Dacordo co dito antes, como será a liña 2 no SRB (en relación coa liña 1)?

d) As liñas 3 e 4 son paralelas no SR B. Como serán, en xeral, no SR.A?

Como se chama a figura formada polas liñas 1,2,3 e 4 no SR.A?



Completaremos a figura acudindo á intuición (que non é unha lei física). Esta dinos que *-As distancias non varían ao cambear de SR..*

Canto medirá a regra de 5 m do SR B no SR A?

e) Debuxa as liñas 1 e 2 no SR.A

*-O tempo non varía ao pasar dun SR a outro.*

En todos os puntos da liña 3 o reloxo mide 0 s.

Canto medirá no SR.A?

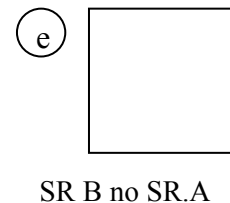
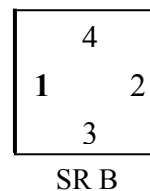
Debuxa a liña 3 no SR.A

En todos os puntos da liña 4 o reloxo mide 5 s.

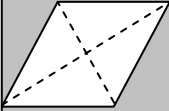
Canto medirá no SR.A?

Debuxa a liña 4 no SR.A

Construímos deste xeito a figura resultante da transformación do “cadrado de e t” ao pasar do SRB ao SRA ( transformación de Galileo).



Explicación de la Ficha  
**G1t - DEDUCCIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN DE GALILEO**



Actividad de REESTRUCTURACIÓN

En esta actividad, se pide al alumnado que realice por sí mismo las operaciones necesarias para ir incorporando las características geométricas de la transformación de SRI basándose en los principios físicos que se van enunciando en cada paso.

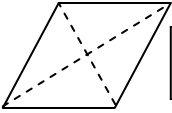
En esencia, es el mismo procedimiento presentado en las actividades anteriores (de forma práctica en la actividad Gp, y de forma teórica en la actividad G1i), pero esta vez con un carácter de “pregunta-acción-respuesta” graduales (acompañadas de la correspondiente visualización gráfica) que van permitiendo al alumno sentir que va descubriendo por sí mismo una figura geométrica basándose en hechos físicos.

Este procedimiento permitirá enriquecer su capacidad de análisis detallado y riguroso, algo que puede ser muy útil cuando posteriormente se le pida que realice lo mismo para construir la forma geométrica de la transformación de Lorentz basándose en argumentos que chocan con la intuición o sentido común. La imposibilidad de repetir en un centro de Secundaria los experimentos cruciales que llevaron al establecimiento de ese nuevo paradigma hace que no se pueda recurrir al camino experimental como para la transformación de Galileo, por lo que el camino visual-analítico seguido en esta actividad cobrará aún mayor importancia.

La transformación de Galileo así obtenida sirve para dar una respuesta al dilema planteado en el debate sobre la puesta de sol permanente (actividad Gd), contribuyendo a la reestructuración de las ideas del alumnado.

Para ello, basta con construir las figuras correspondientes a la Tierra y al avión, para darnos cuenta de su equivalencia.

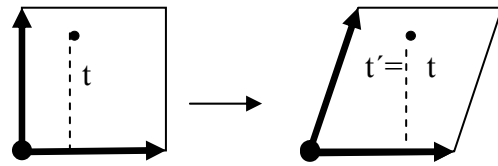
También se pueden usar para desvelar los errores e ideas previas que pudieran haber aparecido durante la discusión.



**G2i - INFORMACIÓN SOBRE a Transformación de GALILEO – Propiedades**

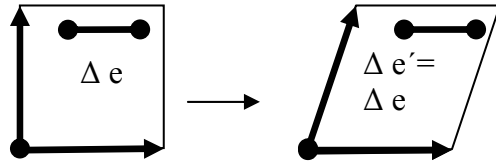
a) Conservación do tempo

$(t' = t)$



b) Conservación das distancias

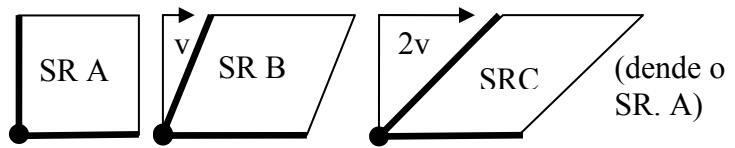
$(\Delta e' = \Delta e)$



c) Adición de velocidades

- ▾ Temos un SRB que se move con velocidade  $v$  respecto doutro SRA.
- ▾ Un 3º SRC móvese con velocidade  $v$  respecto do SRB, e así sucesivamente.

Vistos dende o SRA, os cadrados do  $e/t$  vánse deformando cada vez máis, sen perder nunca o tamaño da base nen a altura da figura:



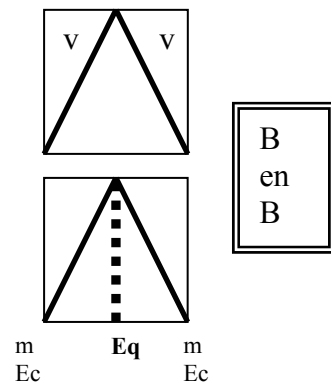
As “paredes” do paralelogramo vanse inclinando cada vez máis. O límite desta inclinación será a recta horizontal (tería velocidade infinita, e a intuición dinos novamente que iso é imposible).

d) Conservación do equilibrio (cdm)

Na figura, podemos observar dúas masas iguais que se achegan unha cara a outra coa mesma velocidade (polo que tamén teñen a mesma  $E_c$ ).

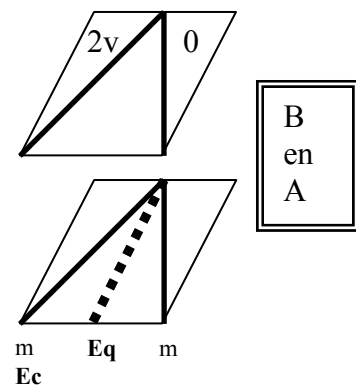
Se as dúas masas son iguais, o seu centro de masas (cdm) estará no medio das dúas en todo momento, polo que describirá a seguinte liña de puntos:

A figura é tan simétrica que non podemos saber se as enerxías cinéticas das dúas masas inflúen no equilibrio, posto que tamén son iguais.



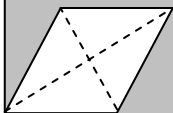
Se aplicamos a transformación de Galileo a estas figuras, vemos que a masa da esquerda viaxa ao dobre de velocidade que antes, mentras que a masa da dereita está en repouso. A masa da esquerda, agora, ten unha enerxía cinética maior, e a masa da dereita xa non ten enerxía cinética, polo que aparece unha posible causa de desequilibrio.

Transformando a figura xunto coa liña do cdm, vemos que esta sigue estando no medio das dúas masa, o que indica que a presenza de Enerxía cinética na masa da esquerda non altera para nada o equilibrio. Concluimos que a masa e a enerxía cinética son magnitudes diferentes con propiedades diferentes, cousa que está dacordo co que nos di a intuición:



$m \neq E_c$

**Explicación de la Ficha**  
**G2i - INFORMACIÓN SOBRE la Transformación de**  
**GALILEO – Propiedades**



**Actividad de ESTRUCTURACIÓN**

Esta actividad es continuación de la G1i, una vez que los alumnos han sido capaces de aplicar dicha información por sí mismos a la deducción de la forma geométrica de la transformación de Galileo (actividad G1t). Continuando la parte final de dicha actividad, en la cual se proponía al alumnado al deducción de las consecuencias físicas de la misma, se presenta ahora una nueva ficha teórica a modo de reestructuración de sus conocimientos, para reafirmar la validez de los mismos.

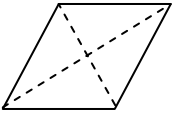
A lo largo de todas las unidades dedicadas a la visualización de la Teoría de la Relatividad, iremos viendo las siguientes cuatro propiedades físicas:

- a) Comparación de los tiempos en el SR inicial y en el SR transformado
- b) Comparación de las distancias y tamaños (longitudes) en ambos sistemas

Tanto en el caso a) como en el b), los alumnos han podido analizar la situación en reposo en la actividad A2t3 (Sistema de Referencia Tierra-Luna) de la UD “Aristóteles”

c) Límite de velocidades (aquí aparece una propiedad nueva, que se puede presentar como una simple consecuencia de aplicar la transformación de SRI sucesivamente y de forma indefinida). Conviene relacionar la imposibilidad de llegar a una recta horizontal mediante la necesidad de conservar la superficie del paralelogramo, como se vio al final de la actividad G1i. Esta misma propiedad será la que nos lleve a la imposibilidad de alcanzar la velocidad de la luz en la transformación de Lorentz.

d) Influencia de la Energía cinética en el equilibrio de 2 masas que colisionan. Dicho equilibrio fue analizado para el caso estático en la actividad A2p (UD Aristóteles), en la que se analizaba de forma gráfica la influencia de un elemento desequilibrador sobre dos masas en una palanca didáctica. Este constituye el razonamiento visual más complejo de los cuatro, pero también va a conducirnos finalmente a la famosa fórmula de Einstein  $E = mc^2$ .



## G2t1 - SISTEMA DE REFERENCIA TERRA-LÚA (Galileo)

Nunha actividade anterior describimos un SR et especial , formado pola liña que une a Terra coa Lúa ( 300.000 Km ) e o tempo que tarda a luz en atravesala (1 s, que era tamén o tempo que tardaba un átomo de Minkowskio en desintegrarse): SRA

a) Observa na parte esquerda da ficha con gráficas e/t, e intenta recoñecer os seguintes eventos (se fai falla, usa o visor para ver o movemento nas gráficas):

i- 2 raios de luz que saen simultaneamente da Terra e da Lúa con sentidos opostos.

ii- 2 átomos de Minkowskio creados simultaneamente na Terra e na Lúa.

iii- 2 cápsulas que saen simultaneamente da Terra e da Lúa a 150.000km/s e se empotran cando chocan, permanecendo o cdm sempre en repouso e equidistante das cápsulas.

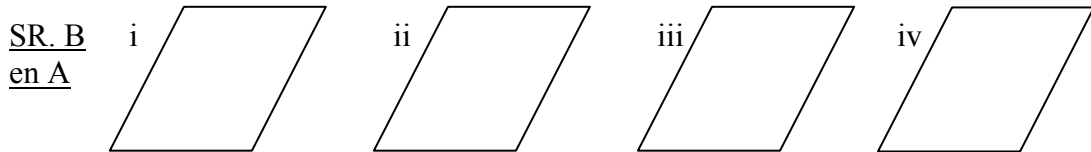
iv- Unha nave alienígena de 300.000 km de lonxitude parada entre a Terra e a Lúa.

Imaxina que dita nave alienígena contén un laboratorio no que os investigadores alienígenas reproducen íntegramente os 4 eventos anteriores nunha copia a escala real do noso sistema T-L. Chamaremos a ese laboratorio alienígena SR.B. Representa os eventos anteriores no SR.B




b) A nave, agora, desprázase a 150.000 km/s da Terra á Lúa

Cómo se representarían os 4 eventos do SRB no noso SRA?. (usa antes as fichas do visor para construír as réplicas)



c) Responde razoadamente ás seguintes cuestións (fai as medidas nos gráficos do visor):

i) Qué velocidades levan os 2 raios de luz da copia alienígena no noso S.R.?

$v_{TL} =$  

$v_{LT} =$

Existiría algunha posibilidade de que as velocidades fosen iguais? \_\_\_\_\_

Explícao.

ii) Cánto tardan en desintegrarse os átomos de Minkowskio alienígenas no noso S. de Referencia?.  $t_{desint} =$

Existiría algunha posibilidade de que tarden máis en desintegrarse no SRA que no SRB? \_\_\_\_\_

Explícao.

iii) Continúa a estar o cdm no punto medio das dúas cápsulas? \_\_\_\_\_

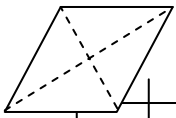
Podería ser que o cdm estivese desprazado hacia a cápsula que ten  $E_c$ ?

Explícao

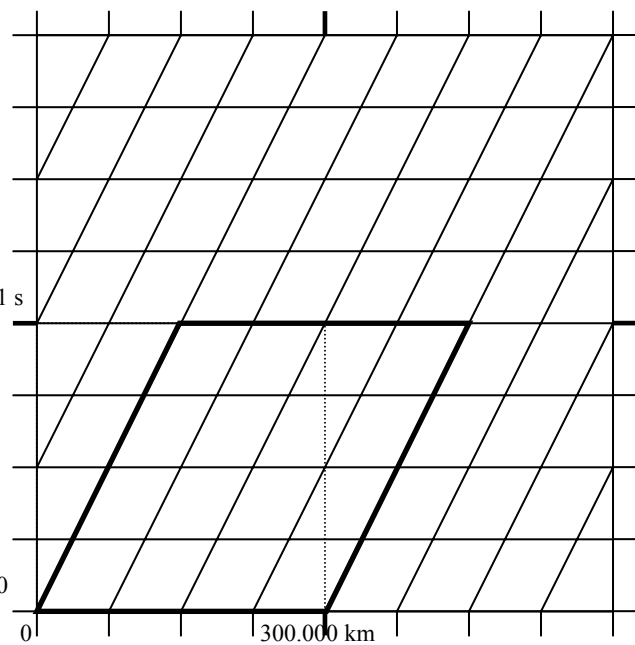
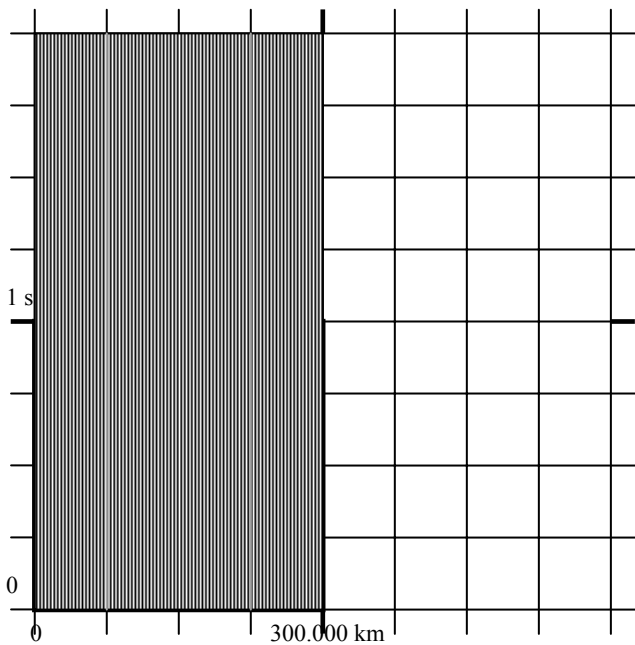
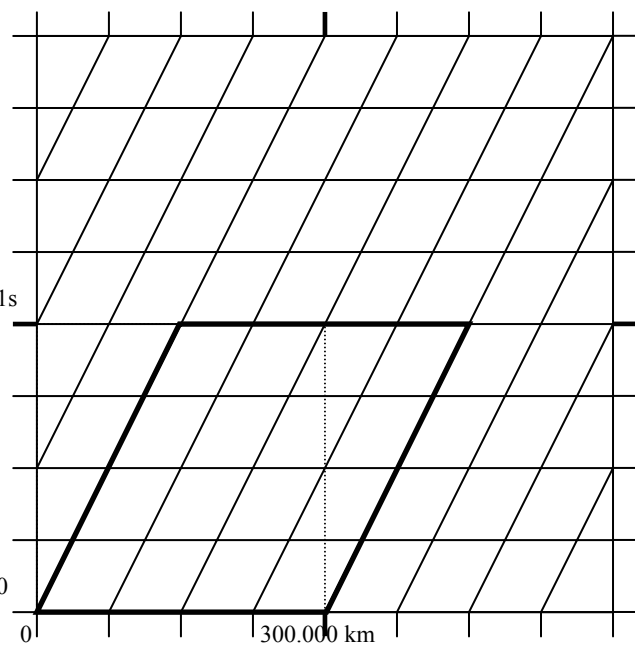
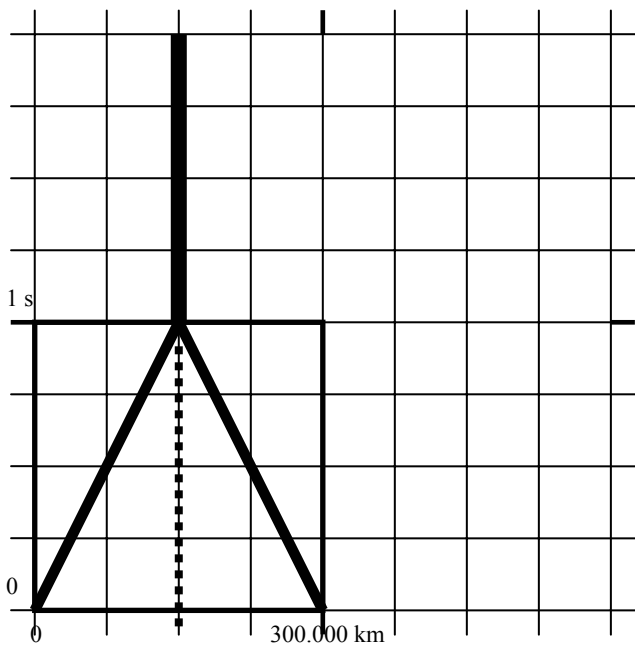
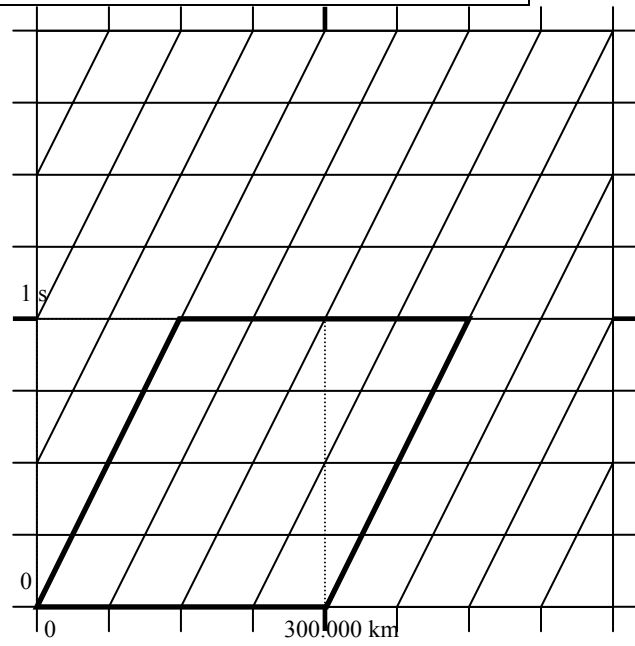
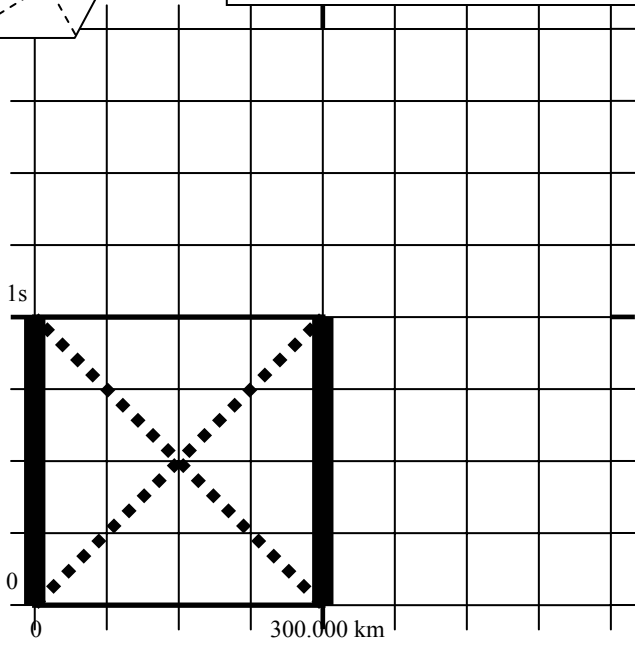
iv) Cánto mide a distancia entre a “Terra” e a “Lúa” do laboratorio alienígena no noso S. de Referencia?.  $d_{TL} =$

Podería ser que a nave variase de tamaño polo feito de ter moita velocidade? \_\_\_\_\_

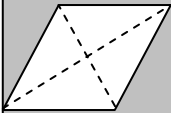
Explícao



G2t2 – Gráficas espacio-tempo para o S.R. Terra-Lúa (Galileo)



**Explicación de las Fichas**  
**G2t1 - SISTEMA DE REFERENCIA TIERRA-LUNA**  
(Galileo)  
**G2t2 – Gráficas espacio-tiempo para el S.R. Tierra-Luna**  
(Galileo)



**Actividad de REESTRUCTURACIÓN**

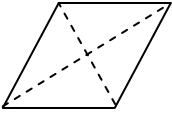
Una vez que en la actividad G2i se analizan las consecuencias físicas de la transformación de Galileo de una forma gráfica y guiada por el profesor, se puede usar el Sistema de Referencia Tierra-Luna presentado en la actividad A2t2 (UD Aristóteles) para abundar más en estos conceptos, de una forma análoga a como en la actividad G1t se redescubría la forma geométrica de la transformación de Galileo: Mediante una serie de “pregunta-acción-respuesta” graduales (acompañadas de la correspondiente visualización gráfica) que van permitiendo al alumno sentir que va descubriendo por sí mismo una serie de consecuencias físicas a partir de una figura geométrica. Se presenta una ficha especial (G2t1) de carácter gráfico por dos razones:

- Para poder realizar medidas en la misma, resaltando así el carácter “físico” (medible) de estos experimentos visuales.
- Para poderla usar con el “Visor espacio-temporal” (ficha A1i2, UD Aristóteles), y de este modo percibir la dinámica asociada a estas figuras.

Se analizan cuatro situaciones:

- i) Variación de la velocidad de la luz al cambiar de SRI
- ii) Conservación de los tiempos
- iii) Conservación del equilibrio de masas, independientemente del desequilibrio introducido mediante la Energía cinética
- iv) Conservación de las distancias o tamaños

En cada situación, al final, se introduce una cuestión que pretende sondear si el alumnado posee algún conocimiento o intuición previa que permita anticipar (a modo de ZDP) la construcción posterior de la relatividad especial.



### G2t3 - CHOQUES E EQUILIBRIO

Nos cadros da esquerda da ficha, podes observar as seguintes situacións.

i-2 masas diferentes chocan con velocidades opostas iguais

ii-2 masas iguais chocan con velocidades opostas iguais.

Representa na terceiro cadro da esquerda o seguinte:

iii-Unha masa en repouso que explota, fragmentándose en dúas masas iguais.

a)Os cadros da dereita representan as mesmas situacións dende un SR en movemento.

Traza neles as liñas correspondentes a cada masa.

Usando a cadrícula das gráficas, podes medir as velocidades de cada masa, e comparar o valor das masas entre sí (supón sempre que a masa da esquerda ten un valor unidade).

Debes ter en conta tamén que o centro de masas (cdm) non varía o seu estado de movemento nun choque. Enerxía cinética de cada masa:  $E_c = \frac{1}{2} m v^2$ .

Equilibrio de masas:  $m_1 \cdot d_1 = m_2 \cdot d_2$  ( $d_i$  : distancia da masa "i" ao cdm).

b)Situación i (esquerda): Prolonga cara atrás a liña do medio (que representa as dúas masas unidas despois do choque). Cal será a liña do cdm despois do choque?

E cal será a liña do cdm antes do choque?

Mida na base da figura i a distancia de cada masa ao cdm:  $d_1 =$   $d_2 =$

Supón que a masa da esquerda ten un valor unidade ( $m_1 = 1$ )

Aplica a fórmula do equilibrio de masas para calcular o valor de  $m_2$ :

-Repite os cálculos para o cadro da dereita:

$d_1 =$   $d_2 =$   $m_2 =$

Qué varía ao pasar do SR da esquerda ao SR da dereita?

c)Situación ii (esquerda): Pola simetría da figura, se  $m_1 = 1$ , entón  $m_2 =$

Velocidades de cada masa:  $v_1 =$   $v_2 =$

Enerxías cinéticas:  $E_1 =$   $E_2 =$

Rómpeuse a simetría da figura ao ter en conta as Enerxías cinéticas?

-No cadro da dereita consérvase a simetría da figura esquerda?

Podes calcular o valor da masa  $m_2$  da mesma forma que fixeches no caso b):

$d_1 =$   $d_2 =$   $m_2 =$

Calcula agora as enerxías cinéticas de cada masa:

Enerxías cinéticas:  $E_1 =$   $E_2 =$

Son iguais os valores de  $E_1$  e de  $E_2$ ? Inflúe a  $E_c$  na posición do cdm?

d)Situación iii (esquerda): Temos unha figura simétrica?

Os valores da  $E_c$  de cada masa despois da explosión romperán a simetría da figura?

-Cadro da dereita: Consérvase a simetría da figura?

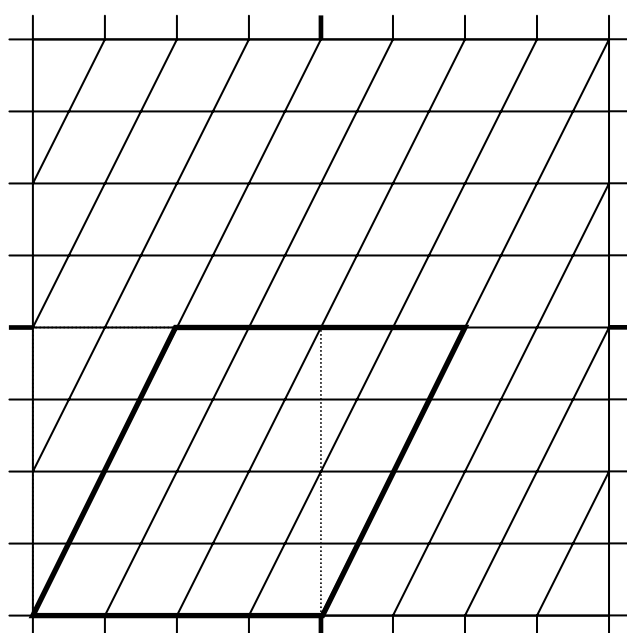
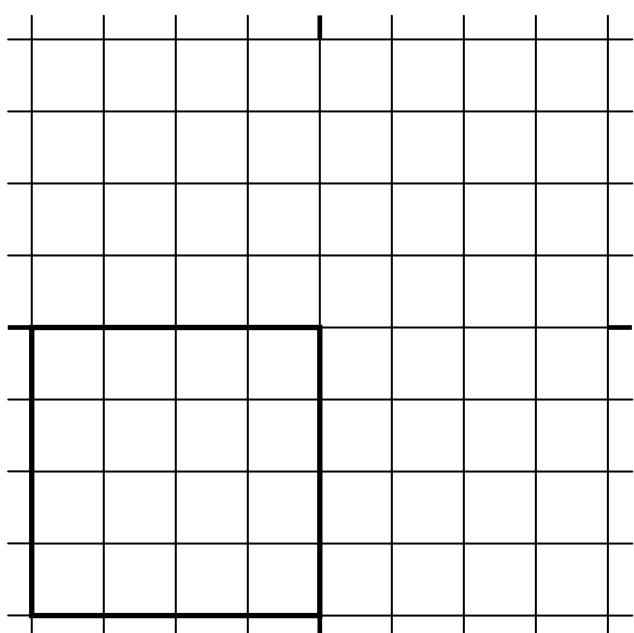
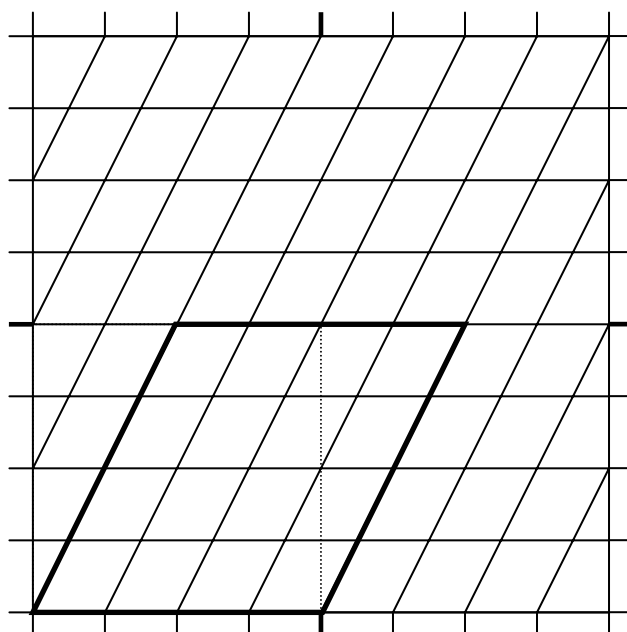
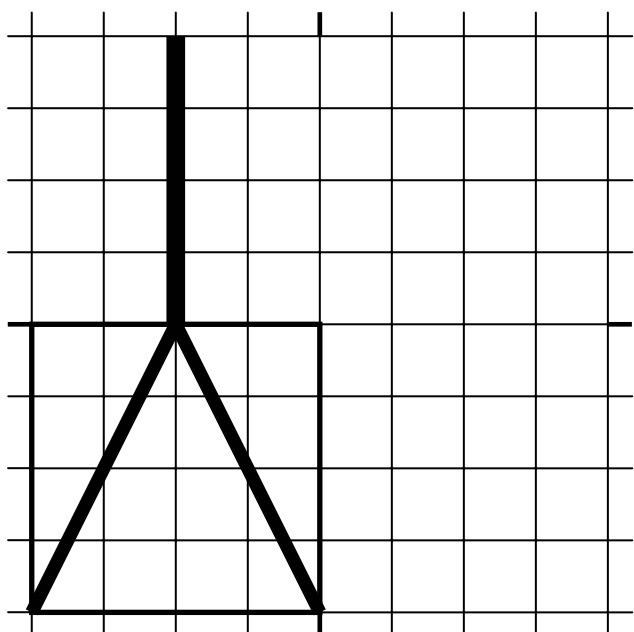
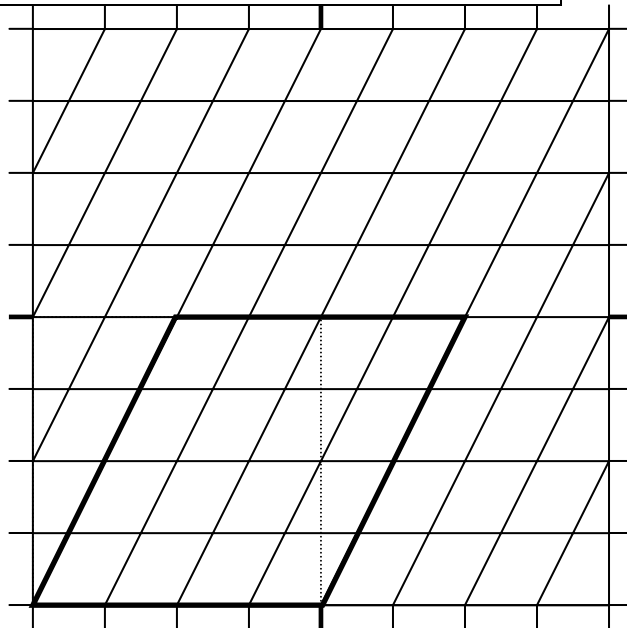
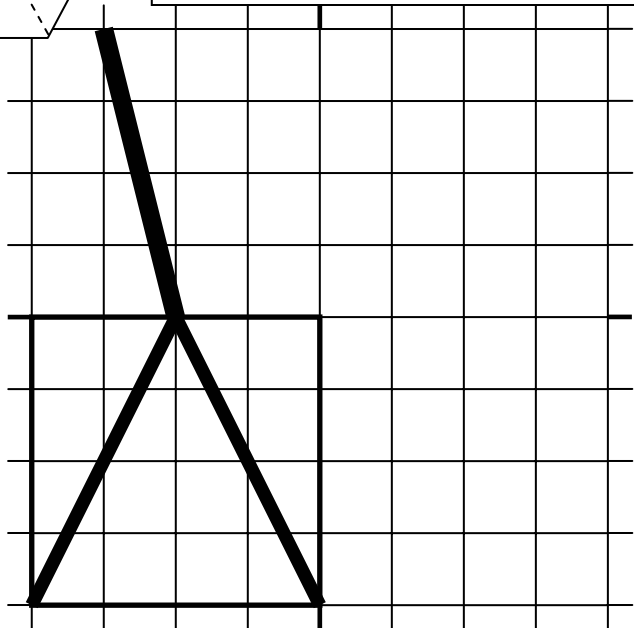
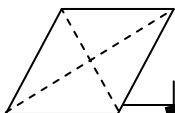
Pensas que os valores da  $E_c$  influirán na posición do cdm?

Por qué?

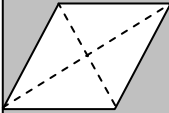
Poderías imaxinar unha situación na cal a variación da  $E_c$  influise na posición do cdm?

Explícao.

# G2t4 - Gráficas espacio-tempo para Choques e Equilibrio (Galileo)



Explicación de las Fichas  
**G2t3 - CHOQUES E EQUILIBRIO**  
**G2t4 - Gráficas espacio-tempo para Choques e Equilibrio**  
(Galileo)



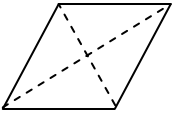
Actividad de APLICACIÓN

Esta actividad es formalmente análoga a la anterior (G2t1), en cuanto que incorpora una serie de “pregunta-acción-respuesta” graduales (acompañadas de la correspondiente visualización gráfica) que van permitiendo al alumno sentir que va descubriendo por sí mismo una serie de consecuencias físicas a partir de una figura geométrica. De la misma forma, en la ficha gráfica G2t4 también se acude (como en G2t2) a la visualización mediante gráficas espacio-temporales en las que se pueden realizar medidas resaltando el carácter “físico” (medible) de estos experimentos visuales, así como para poderlas usar con el “Visor espacio-temporal” y de este modo percibir la dinámica asociada a estas figuras.

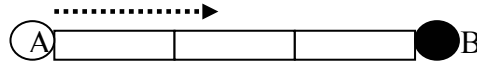
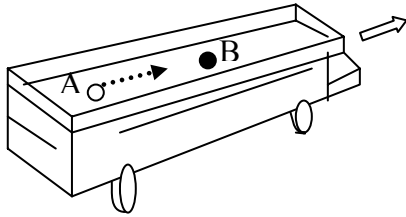
A diferencia de la actividad anterior (en la que se reestructuraban ideas presentadas previamente), sin embargo, en este caso estamos aplicando esta técnica a situaciones nuevas, no vistas con anterioridad, pero que guardan estrecha relación con el camino didáctico seguido.

De este modo se afianzan las capacidades operativas del alumnado en la interpretación física de estas gráficas visuales.

Estas capacidades serán fundamentales posteriormente en la construcción de la relatividad especial siguiendo la metodología de carácter geométrico anticipada por Minkowski.



**Ga1 - PROBA DE RETENCIÓN: Aplicación da Transformación de Galileo**



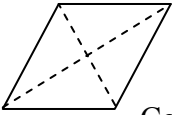
Supón que imos nun autobús descuberto (como os que fan rutas turísticas polas cidades) e queremos averiguar a velocidade do bus do seguinte xeito: situamos un altofalante (A) no chan e máis adiante un microfone (B), de xeito que poidamos medir o tempo que tarda un son en ir de A a B.

Cando o bus está en marcha, o son tardará máis tempo en chegar ao microfone que cando está parado, debido ao "vento" cara atrás causado polo avance do bus (e que tamén notamos nos nosos cabelos). A partir do aumento no tempo de chegada, podemos averiguar a velocidade a que viaxa o bus.

a) Que transformación de sistema de referencia explica este resultado?

b) Debuxa a gráfica espazo-tempo da transformación correspondente, e xustifica con ela a túa resposta.

a) Qué acontecerá se facemos o experimento nun bus pechado?



## Ga2 - CUESTIÓNS PREVIAS SOBRE A TEORÍA DA RELATIVIDADE

Contesta razoadamente (sempre que poidas, fai un debuxo explicativo por detrás):

1-Qué sabes dicir sobre a Teoría da Relatividade de Einstein?

2.Pensas que un reloxo en movemento pode ir máis lento que un en repouso?  
Por que?

3-Sabes en qué consiste a enerxía nuclear?  
Como a explicarías?

Como se pode transformar masa en enerxía?

Pódese transformar algún tipo de enerxía en masa?                      Como?

4-Un avión voa cara o Oeste e observa un solpor permanente cando pasa por Islandia.  
Indica se as seguintes afirmacións son verdadeiras (V) ou falsas (F), e por qué:

\_\_\_\_\_ A Terra rota cara o Leste, e o avión avanza cara o Oeste á mesma velocidade.

\_\_\_\_\_ Desde o SR terrestre, o avión está en movemento e Islandia en repouso.

\_\_\_\_\_ Desde o SR solar, Islandia está en movemento e o avión en repouso.

\_\_\_\_\_ O avión non pode estar en repouso en ningún SR, se os motores funcionan.

5-Un acelerador de partículas é un grande anel no que partículas cargadas son aceleradas continuamente por campos electromagnéticos. Crees que existe un límite para a velocidade a que poden ser aceleradas ditas partículas?  
Por qué?

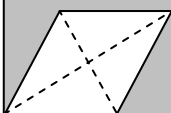
6-Pode ser que un obxecto en movemento mida menos do que medía en repouso?  
Por que?

7-A qué se debe que dúas bobinas con corrente eléctrica se atraian mutuamente?

## Explicación de las Fichas

**Ga1** - PRUEBA DE RETENCIÓN: Aplicación de la Transformación de Galileo

**Ga2** - CUESTIONES PREVIAS SOBRE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD



### Actividad de EVALUACIÓN

Se presentan conjuntamente estas dos actividades por el hecho de consistir en pruebas escritas en las que se pide al alumnado que manifieste los conocimientos adquiridos hasta ahora y ponga de evidencia, en su caso, determinados errores que pudiera tener, bien por ser ideas previas que hayan resistido la instrucción realizada, bien por ser artefactos o lagunas mentales que hayan aparecido durante la misma.

La primera ficha (Ga1) fue diseñada, en principio, para formar parte de una batería de pruebas con las que se pretendía medir la retención de las ideas del alumnado al cabo de varios meses (de este modo, superando la retención de carácter temporal y no significativa de la memoria a corto plazo).

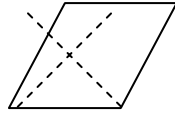
Sin embargo, por su formato podría ser usada también como actividad de aplicación.

La segunda ficha (Ga2) constituye, a la vez, una prueba de la persistencia de ideas previas sobre el movimiento relativo (pregunta 4), así como una prueba que forma parte del diagnóstico inicial previo a la introducción a la relatividad de Einstein, pues las restantes preguntas sirven también para comprobar la solidez de las ideas relativistas clásicas adquiridas en la instrucción recibida hasta el momento.

Dado que las preguntas versan sobre las mismas cuestiones, podemos comprobar si el alumnado elabora una respuesta clásica (y, entonces, averiguar el alcance y solidez de sus ideas y argumentos galileanos), o bien una respuesta diferente, que pueda ser interpretada bien como anticipación de ideas relativistas (que contribuirían al desarrollo de la ZDP en la dirección deseada) o bien como ideas alternativas (que, por su persistencia, serían un obstáculo para la instrucción posterior).

# Michelson

## Crisis experimental de la Relatividad Clásica



Esta Unidad Didáctica tiene un carácter instrumental. La importancia dada a la misma es debida a que constituye el eje conceptual sobre el que vamos a basar toda la justificación de la teoría de la Relatividad Especial.

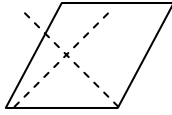
Está situada a mitad de camino en la secuencia didáctica, por lo que marca un “antes” y un “después”:

-Antes, toda la argumentación estaba basada en fundamentar la transformación geométrica correspondiente a la teoría clásica de la relatividad. Este esfuerzo se justifica en la creación de capacidades de análisis e interpretación de las gráficas espacio-temporales para extraer consecuencias de carácter físico de las mismas.

-Después, todo el énfasis estará en aplicar esta capacidad de análisis e interpretación a una nueva forma geométrica para extraer de la misma toda la información de carácter físico que se pueda. El resultado será una comprensión visual (pero no por ello menos rigurosa, algo que ya Minkowski demostró en su momento) de la Teoría de la Relatividad especial de Albert Einstein. Pensamos que este objetivo bien justifica los pasos que damos para llegar al mismo.

Y en estos momentos nos encontramos en la mitad del camino.

Conviene tener en cuenta que principal razón para la introducción de un nuevo paradigma que revolucionará nuestros más anclados conceptos sobre el espacio, el tiempo y las numerosas magnitudes con ellos relacionadas no es de carácter lógico, sino resultado de evidencias experimentales. Conviene tener en cuenta que, aunque en esta Unidad se reserva un papel central a la experiencia de Michelson y Morley (en una versión simplificada por razones didácticas), el papel que jugó dicho experimento en la conformación de las ideas de Albert Einstein fue más bien escaso. Tuvo un papel más relevante la teoría de Maxwell sobre el electromagnetismo, que no se acomodaba con la relatividad clásica. La razón de no usar las fórmulas de Maxwell como punto de partida para la ruptura con la teoría clásica es nuevamente de carácter didáctico, puesto que en la Educación Secundaria no se poseen los conocimientos necesarios sobre cálculo diferencial.



## Md - DEBATE SOBRE O EXPERIMENTO DE MICHELSON

Como sabemos, o intento de Michelson por medir a velocidade da Terra polo espacio absoluto (ou polo éter, que sería o medio no que se moverían os raios de luz, e que debía abarcar todo o Universo, xa que podemos ver as estrelas máis distantes) deu un resultado negativo. Isto foi debido a que, comparando o tempo de percorrido de dous raios de luz polos brazos do seu interferómetro, non apareceu ningunha diferenza apreciable.

**Lorentz** dixo que podería explicarse este feito se os obxectos se contraen ao avanzar polo éter (sendo o éter o medio polo que se desprazan as ondas luminosas).

Outros científicos, como o francés **Poincaré**, dixeron que o espacio e o tempo deberían deformarse de tal forma que a velocidade da luz fose sempre a mesma.

**Cal das seguintes respostas explicaría mellor o sucedido?**

- 1-A Terra non se estaba desprazando (explica como pode pasar iso)
- 2-A Terra arrastra ao éter no seu movemento polo que a luz leva igual velocidade en calquera dirección terrestre (neste caso, explica como pode suceder ise arrastre)
- 3-A contracción de Lorentz (neste caso, pensa a que pode ser debida)
- 4-A deformación de Poincaré (neste caso, pensa como sería a deformación do e/t)
- 5-Outra razón (di aquí cal sería e explica máis abaixo):

Anota o número da resposta que creas máis axeitada para explicar o FEITO de que o experimento non detectase ningunha diferenza de tempos, e indica as túas razóns (se podes, fai debuxos para explicarte mellor).:

Resposta nº: \_\_\_\_\_

Razóns:

Despois xúntate cos demais membros de teu grupo e procurade chegar a unha conclusión común, que poidades defender con argumentos ante os demais grupos.

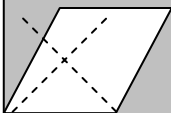
Grupo Nº: \_\_\_\_\_ Nomes: \_\_\_\_\_

Anota a conclusión:

Razóns:

Opinión persoal:

Explicación de la Ficha  
Md - DEBATE SOBRE EL EXPERIMENTO DE  
MICHELSON



Actividad de EXPLORACIÓN inicial

La mecánica recomendada para estos debates está explicada en las páginas de la Introducción.  
Se indican a continuación algunos ejemplos de frases que pueden ser usadas a conveniencia por el profesor/a para animar u orientar las discusiones del alumnado:

.....  
Relatividade:

*-Se a velocidade da luz non poidese variar, enviando dous raios de luz en direccións opostas da Terra terían que dar a volta no mesmo tempo. Pero nese tempo a Terra xa rotaría algo, e tería que haber unha diferenza! (experimento de Sagnac)*

(Se algunha das posibles solucións foi pouco tratada, ler a frase correspondente):

*1-O laboratorio de Michelson poderíase estar movendo nunha dirección vertical, e entón non o podería detectar co seu experimento horizontal.*

*-Para iso estivo toda a noite medindo.*

*-Tamén podería ser que os movementos coñecidos da Terra se compensasen cun movemento descoñecido do Sol.*

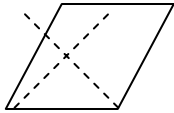
*-Pero entón, medio ano despois sumaríanse.*

*2-A Terra arrastra a atmosfera no seu movemento, e da mesma forma pode arrastrar ao éter.*

*-Pero o éter, de existir, tería que estar por todo o Universo, mentras que a atmosfera só está ao redor da Terra.*

*3,4-Deformando o espacio-tempo de forma que se incline tamén o eixe espacial, a velocidade da luz sempre é a mesma.*

*-Entón, o tempo variaría dun SR a outro, e dous irmáns xemelgos poderían chegar a non cumprir anos xuntos estando vivos os dous.*



**Mn1 - PRÁCTICA DE RELATIVIDADE: Velocidade de arrastre**

**MATERIAIS:**

- 1 carril para cortinas (con 2 marcas deslizantes, que chamaremos “raios”) -1 metro; - cronómetros -tira de hule; -3 marcadores

**PROCEDEMENTO:**

- Colocar o carril da cortina sobre a mesa.
- Situair un marcador sobre a mesa á altura do centro do carril, e dous máis na metade do percorrido hacia cada lado. Enfrente de cada un destes marcadores sitúanse dous alumnos con cronómetros.

-Mídese a distancia entre o marcador do centro e cada marcador do extremo (L), a cal será a unidade de espacio relativo:  $u_L$

Fanse marcas no cable da cortina separadas pola distancia  $L/3$  (distancia relativa  $1/3$ ).

Facemos 9 marcas no hule separadas entre sí por unha distancia relativa  $1/9$ .

- Un alumno vai tirando do cable da cortina lentamente, mentras outro vai “cantando” os segundos cun reloxo (non ten por que ser cronómetro), de xeito que pase unha marca ( $1/3$ ) cada segundo cantado.

1ª Parte: Facer o experimento cos 4 alumnos cronometrando o tempo que tarda cada raio en chegar ata a súa marca, partindo dende o centro. Valores:

Cara a esquerda:  $t_1 =$

Cara a dereita:  $t_2 =$

A media destes tempos será a unidade de tempo relativo :  $u_t =$

Representar na ficha os instantes en que cada raio chega a cada marcador (lados dos cadrados).

2ª Parte: Repetir o procedemento anterior, mais desta vez fixando os marcadores sobre o hule, cun alumno tirando do hule para a dereita, de xeito que cada segundo se desprace unha das 9 marcas. Os 4 alumnos miden o tempo que tarda cada raio en pasar diante da súa marca (deben moverse co hule, para elo).

Anotar os valores medios: Cara a esquerda:  $t_1 =$  Cara a dereita:  $t_2 =$

3ª Parte: Repetir o procedemento anterior, mais desta vez fixando o carril sobre o hule, cun alumno tirando do hule para a esquerda de xeito que cada segundo se desprace unha das 9 marcas. Os 4 alumnos de antes miden novamente o tempo que tarda cada raio en pasar diante da súa marca (permanecen parados, para elo).

Anotar os valores medios: Cara a esquerda:  $t_1 =$  Cara a dereita:  $t_2 =$

Representar na segunda ficha os instantes en que cada raio chega á súa marca (raias grosas verticais).

Calcula a velocidade do hule unindo ambos puntos mediante unha liña recta e medindo a altura da mesma sobre a horizontal no punto medio.  $h =$

Divide pola unidade  $u_t$  para obter a velocidade relativa:  $v = h / u_t =$

Compara co valor da velocidade relativa do hule respecto dos raios ( $v = 1/3$ )

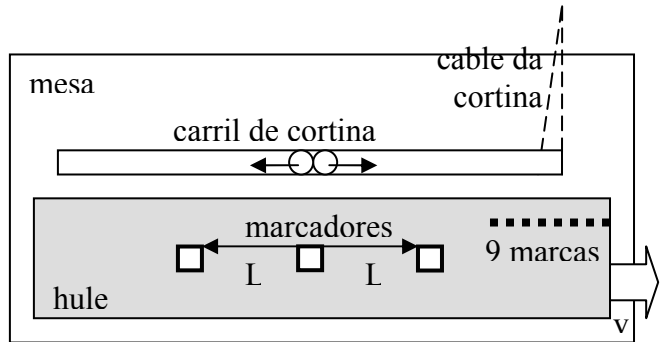


Figura 1: 2ª Parte

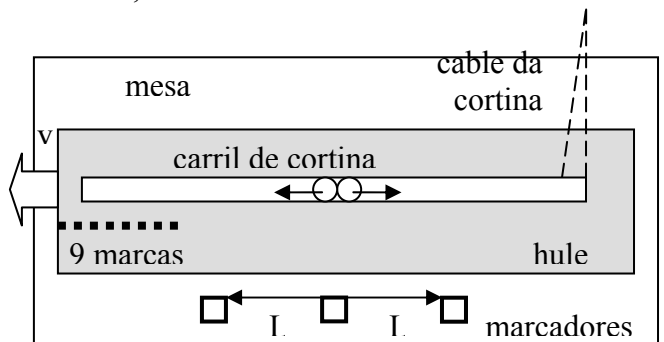
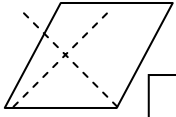


Figura 2: 3ª Parte



**Mp2 - PRÁCTICA DE RELATIVIDADE: Velocidade de arrastre (instruções adicionais)**

Valores recomendados  
(aproximados):

L: 15 cm

V: 15 cm/s

6 observadores

distanciados

regularmente:

3 a favor do movemento  
do hule (1f, 2f, 3f)

3 en sentido contrario: 1c,

2c, 3c

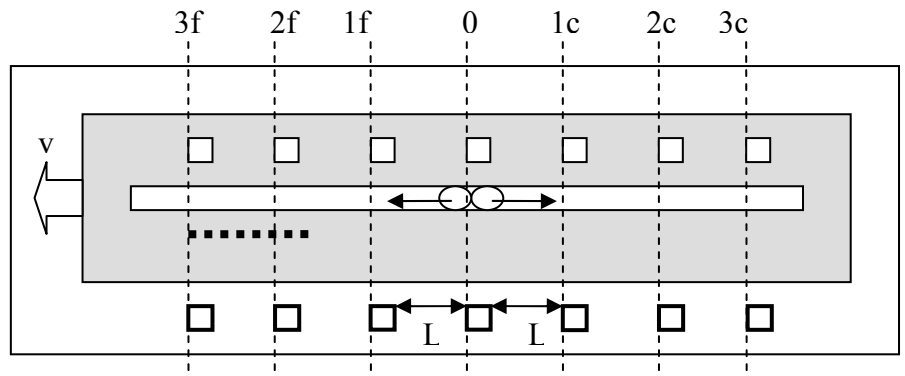


Figura 3: 3ª Parte

Outros 6 (un para cada observador): Anotan as medidas e fan os cálculos.

Anotacións para a 1ª parte: nunha táboa como a seguinte:

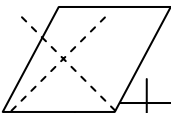
observador	1c	1f	2c	2f	3c	3f
1ª medida de tempos						
2ª medida de tempos						
etc						

Medidas: repetir o procedemento ata que os valores sexan coherentes (posto que na 1ª parte deberían dar os mesmos valores, xa que o hule non se está movendo). Esta parte consiste nunha especie de “calibrado” que nos vai permitir, por un lado, mellorar a técnica ata conseguir os mellores resultados posibles con todas as limitacións deste experimento, e por outra parte ter unha estimación dos erros que se cometen, á hora de valorar os resultados.

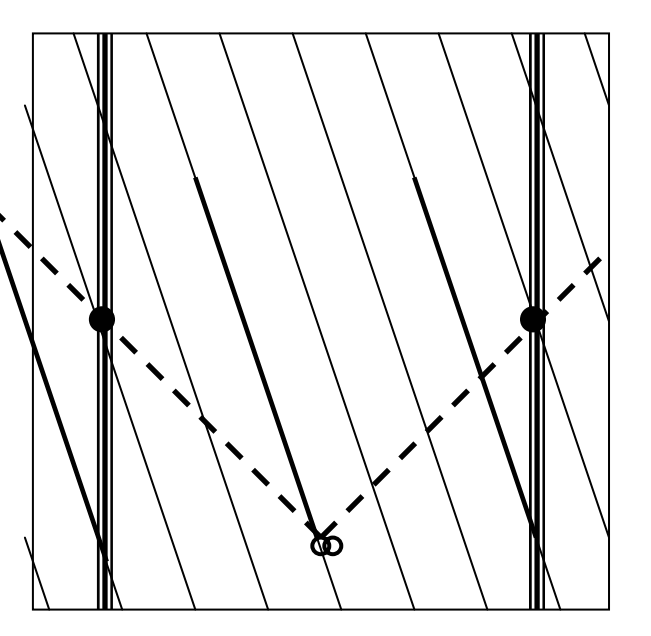
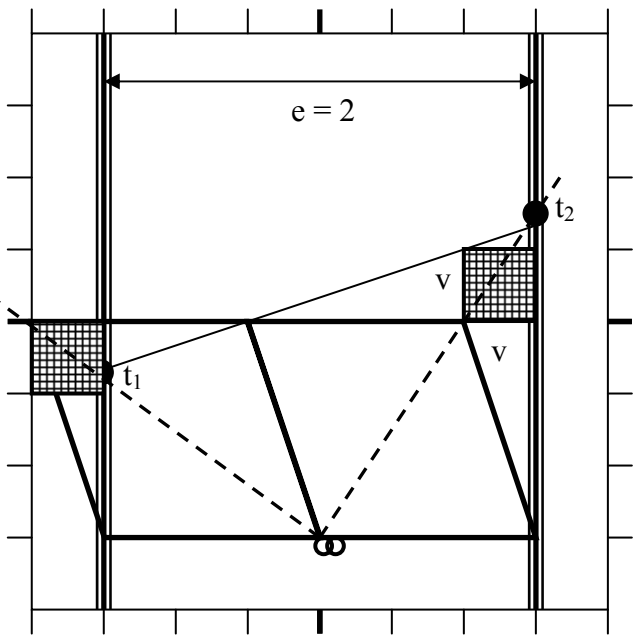
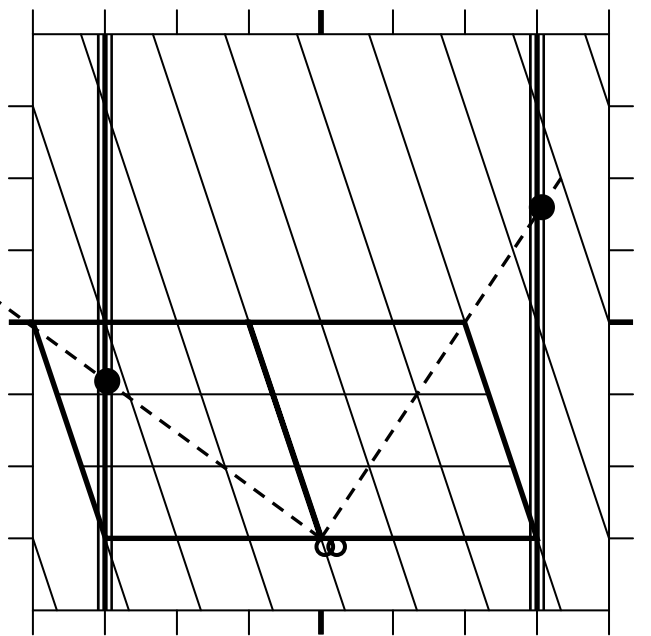
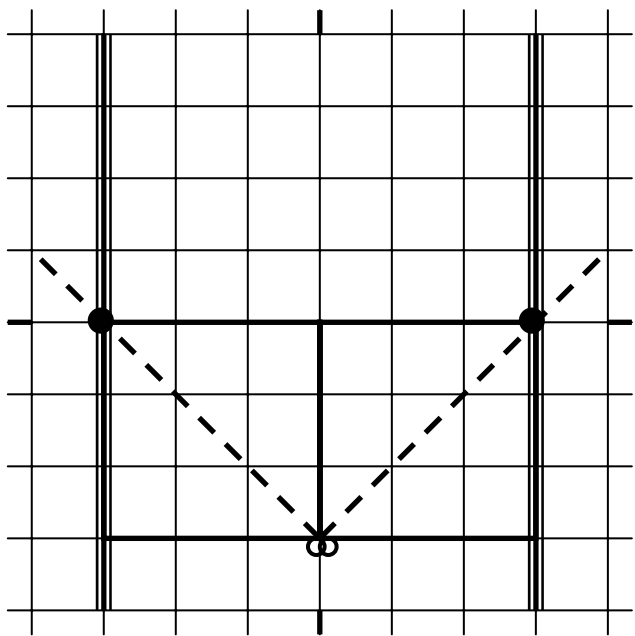
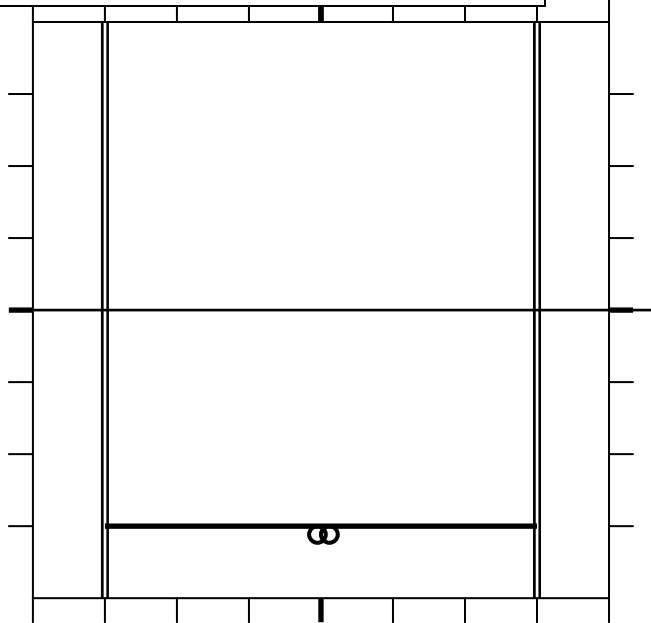
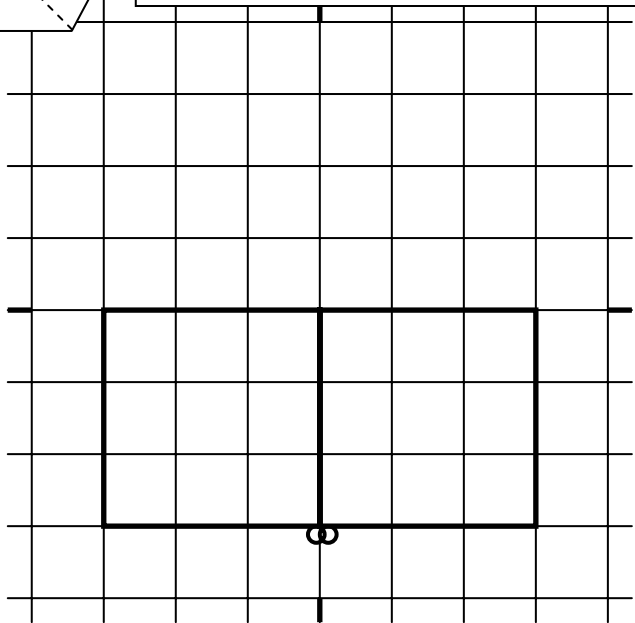
Representar estes valores finais na primeira das gráficas cadriculadas da seguinte ficha.

2ª parte: Carril e hule en movemento.

observador	1c	1f	2c	2f	3c	3f
Medidas (Ti)						
Cálculos	T1c – T1f		T2c – T2f		T3c – T3f	
	T1c + T1f		T2c + T2f		T3c + T3f	
	$\frac{T1c - T1f}{T1c + T1f}$		$\frac{T2c - T2f}{T2c + T2f}$		$\frac{T3c - T3f}{T3c + T3f}$	

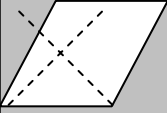


Mp3 - PRÁCTICA DE RELATIVIDADE: Velocidade de arrastre (Gráficas)



## Explicación de las Fichas

**Mp1** - PRÁCTICA DE RELATIVIDAD: Velocidad de arrastre  
**Mp2** - PRÁCTICA: Velocidad de arrastre (instrucciones adicionales)  
**Mp3** - PRÁCTICA: Velocidad de arrastre (Gráficas)



### Actividad de INDAGACIÓN

Mediante esta actividad pretendemos introducir a los alumnos en la interpretación de los resultados previstos en el experimento de Michelson.

Para ello, usamos una simulación en la que un carril de cortinas hace las veces de doble rayo de luz desplazándose a la misma velocidad en sentidos opuestos..Cualquier otro dispositivo que tenga esta propiedad serviría de la misma forma.

Hay unas diferencias importantes con el experimento de Michelson: el inteferómetro usado por ellos no comparaba los tiempos de llegada a extremos opuestos sino los de regreso al punto de partida, ni tampoco enviaba rayos de luz en sentidos opuestos, sino en direcciones perpendiculares.

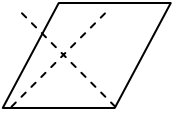
La razón para ello es puramente experimental:, pues sería imposible medir con una mínima precisión la diferencia en los tiempos de llegada de los rayos a los extremos opuestos. Por otro lado, si colocamos los brazos del interferómetro en sentidos opuestos no habría diferencias de tiempo ni siquiera en el caso clásico, pues se cancelarían en la ida y vuelta.

La complejidad resultante se analiza en las fichas siguientes, siendo recomendable tenerla en cuenta en Bachillerato pero no tanto en la ESO.

La dinámica de esta actividad es similar a de la práctica cooperativa Gp (Camión sobre hule, Galileo).

El análisis gráfico de la ficha Mp3 tiene como finalidad comprobar que se puede averiguar la velocidad de arrastre del hule a partir de las diferencias en los tiempos de llegada de los rayos (o de sus velocidades a favor y en contra del arrastre del hule, si se prefiere).

Finalmente, se presenta una última gráfica en la que se debe pedir al alumnado que intente explicar cómo se podría justificar una diferencia nula en los tiempos de llegada (que es el resultado experimental obtenido finalmente por Michelson).



## M1i1 - INFORMACIÓN SOBRE O EXPERIMENTO DE MICHELSON

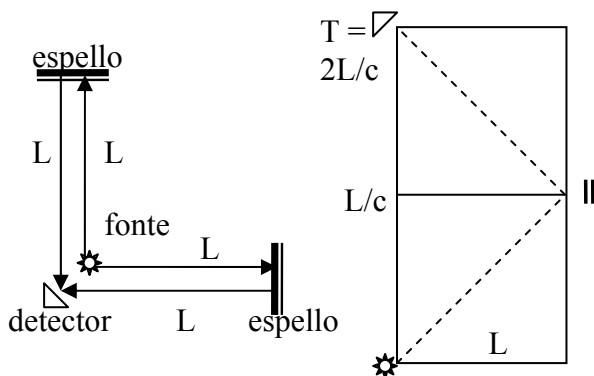
Os científicos norteamericanos Michelson e Morley, fixeron a principios do século XX un experimento para medir a velocidade con que a Terra se move no espazo absoluto. Para elo, situaron un aparello chamado interferómetro co que medían a diferenza entre a velocidade da luz en 2 direccións perpendiculares. Xirando o aparello, buscaban as direccións con maior diferenza de velocidades, que sería debida ao arrastre da luz polo medio no que se move a Terra.



**Michelson** montou o seu interferómetro sobre unha pedra de granito que puxo a flotar sobre mercurio nun sótano de Cleveland, e pasouse a noite comparando as velocidades en todas as direccións (xirando a pedra no mercurio), para atopar as diferenzas.

Sabíase que a Terra ten un movemento de rotación dunha velocidade algo superior aos 0,3 Km/s na latitude de Norteamérica, e que polo movemento de translación ao redor do Sol leva unha velocidade adicional de 30 Km/s. **Michelson supuxo que calquera outra**

**velocidade sería debida ao movemento do Sol polo espazo absoluto.**



O interferómetro enviaba dous raios de luz en direccións perpendiculares e despois de recorrer distancias iguais reflexándose en espellos, xuntábanse nun mesmo punto. Se o tempo de recorrido era o mesmo, veríase un punto brillante (as intensidades sumaríanse), e se un dos raios chegaba 1 fs =  $10^{-15}$  s retrasado respecto do outro, veríase unha zona oscura (as intensidades restaríanse debido á interferencia). Podíanse así detectar diferenzas moi pequenas de velocidade en

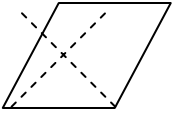
direccións perpendiculares. O recorrido da luz en cada dirección (L) facíase de 15 m en total coa axuda de espellos auxiliares.

No diagrama e/t podes ver representado o camiño da luz supoñendo que o instrumento estivese en repouso. A figura é a mesma para os dous brazos.

Un análise en detalle deste experimento revélanos que unha diferenza de tempos de chegada será debida ao movemento relativo do laboratorio con respecto do “éter” no que se propaga a luz, ou, o que é o mesmo, a velocidade coa que se move a Terra polo espazo. O aparello tiña sensibilidade dabondo para medir esa diferenza de tempos, debida ao movemento coñecido de translación da Terra, E por suposto calquera outra velocidade adicional debida ao movemento do propio Sol.

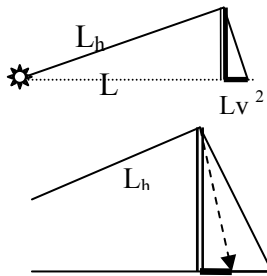
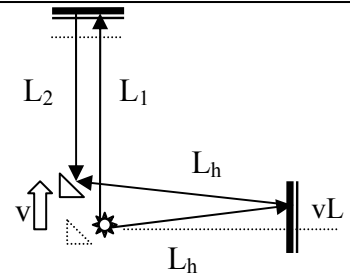
Para a súa sorpresa, o experimento deu negativo, é dicir, a luz tiña a mesma velocidade en tódalas direccións ao xirar a mesa horizontalmente dando unha volta completa co aparello, o mesmo que cando repetiu o experimento medio ano despois.

Como resultado deste experimento, constatouse que a velocidade da luz é a mesma en calquera SR, independentemente do movemento deste. Isto coincide co resultado teórico obtido por Maxwell a partir das leis do electromagnetismo:  $c^2 = 1/(\epsilon\mu)$ , sendo  $\epsilon$  o valor da permeabilidade eléctrica do valeiro (que se mide usando condensadores), e  $\mu$  a susceptibilidade magnética do valeiro (que se mide usando imáns). Ningún destes valores depende da velocidade do SR, polo que  $c$  tampouco debería variar.



## M1i2 - ANÁLISE DETALLADO DO EXPERIMENTO DE MICHELSON

Imos calcular o resultado esperado do experimento de Michelson. Podes ver na figura da dereita que o camiño do brazo perpendicular ao movemento da Terra (representado aquí en horizontal) incrementase debido ao desprazamento do espello, ata un valor  $L_h$ . O raio vertical (paralelo ao movemento terrestre) percorre unha distancia  $L_1$  ata chegar ao espello, e despois unha distancia  $L_2$  para regresar ao detector.



$$L_h = L + Lv^2/2$$

A continuación, represéntase o que acontecería se o instrumento tivese dous brazos de 15 m (o cal se consegue mediante 5 espellos no extremo de brazos de 3m) e fose arrastrado a 30 km/s pola translación da Terra ( $v = 10^{-4} c$ )

Nas figuras da esquerda podemos ver que o camiño percorrido no brazo horizontal incrementase nun factor  $v^2/2$ .

Como o raio vai e ven, o incremento no tempo faise dobre:  $Tv^2$

Coa axuda das figuras da dereita (nas que tomamos como unidade de tempo  $T$  e como unidade de lonxitude  $L$ , de xeito que  $c = 1$ : unidades relativas), podemos calcular o valor do incremento de tempo relativo no brazo vertical:  $2v^2$ . Polo tanto, a diferenza de tempos entre o brazo vertical e o horizontal é de  $\Delta t = v^2$ .

Tempo de percorrido ata o espello no instrumento en repouso (unidade de tempo relativo):

$$T = L/c = 15m/(3 \cdot 10^8 m/s) = 5 \cdot 10^{-8} s$$

Valor do retraso:

$$\Delta t = Tv^2 = 5 \cdot 10^{-8} s \cdot (10^{-4})^2 = 5 \cdot 10^{-16} s$$

Compara co valor do retraso que produce unha franxa oscura no interferómetro ( $1 fs = 10^{-15} s$ ).

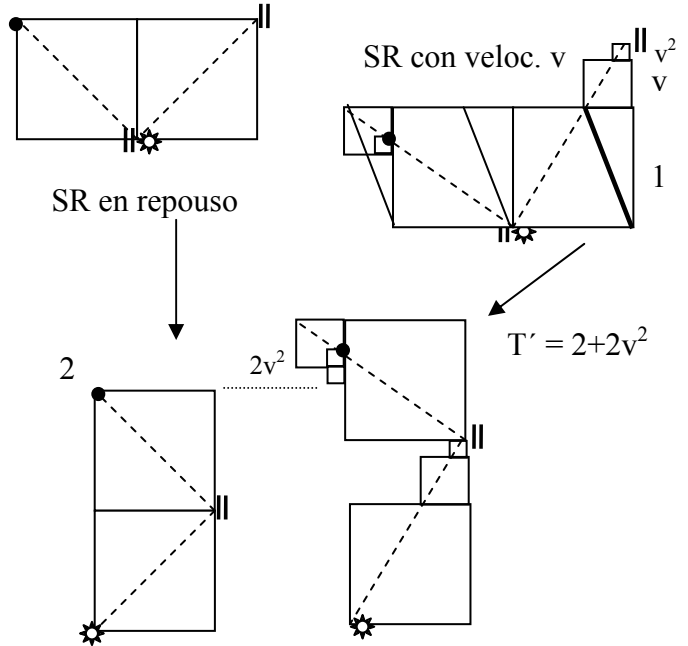
O valor do retraso é a metade, e debería ser detectada a velocidade da Terra co interferómetro, pois aínda que non chegase a oscurecer de todo, o aparello podía detectar diferenzas de tempos de ata unha décima de fs.

Se o movemento do Sol fose contrario ao da Terra nunha época do ano, de forma que a velocidade de conxunto fose nula, medio ano despois as velocidades sumaríanse.

Michelson repetiu o experimento 6 meses despois co mesmo resultado negativo.

O científico holandés Lorentz dixo que se o brazo que avanza polo éter se contrae un pouco, de xeito que perda a distancia  $Lv^2/2 = 15m \cdot 10^{-8} / 2 = 0,08$  micras, entón o tempo do percorrido de ida e volta do raio vertical diminuiría na cantidade  $Tv^2$ , (que era xustamente o tempo que se retrasaba o raio vertical con respecto do horizontal), co que os tempos serían os mesmos, explicando o resultado negativo.

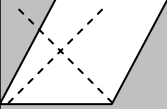
Poincaré foi algo mais alá, postulando unha deformación do espacio e do tempo.



## Explicación de las Fichas

**M1i1** - INFORMACIÓN SOBRE EL EXPERIMENTO DE MICHELSON

**M1i2** - ANÁLISIS DETALLADO DEL EXPERIMENTO DE MICHELSON



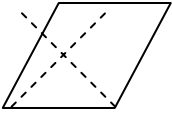
### Actividad de ESTRUCTURACIÓN

Cuando se explicó la actividad práctica (Mp), se indicó que el interferómetro usado en el experimento de Michelson no comparaba los tiempos de llegada a extremos opuestos sino los de regreso al punto de partida, ni tampoco enviaba rayos de luz en sentidos opuestos, sino en direcciones perpendiculares.

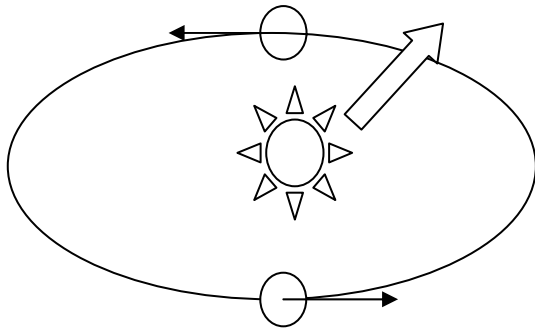
La razón para ello es puramente experimental: , pues sería imposible medir con una mínima precisión la diferencia en los tiempos de llegada de los rayos a los extremos opuestos. Por otro lado, si colocamos los brazos del interferómetro en sentidos opuestos no habría diferencias de tiempo ni siquiera en el caso clásico, pues se cancelarían en la ida y vuelta.

En las fichas anteriores se analiza de forma gráfica el dispositivo experimental del interferómetro de Michelson (ficha M1i1), así como la razón geométrica para que haya una diferencia esperada en los tiempos de regreso de ambos rayos (ficha M1i2). En esta segunda ficha se realiza también un análisis de las diferencias de tiempo esperadas en el caso de que uno de los brazos estuviera paralelo al desplazamiento de la Tierra y que la única velocidad fuera la de traslación de la Tierra (30 km/s), que son del orden de fracciones de femtosegundo. Esta es una medida de tiempo imposible de detectar con relojes pero que es comparable con el propio periodo de oscilación de un rayo luminoso, razón por la que el experimento debería detectar por lo menos la velocidad de traslación terrestre. Cabe discutir con los alumnos las posibles explicaciones para el resultado negativo obtenido, entre ellas:

- Que el movimiento de traslación estuviera cancelado por el de desplazamiento del Sol (contraargumento: que sucedería medio año después?)
- Que la Tierra arrastre consigo el medio en que se mueve la luz (contraargumento: que propiedades mecánicas debe tener ese medio para que podamos ver la luz de las estrellas más distantes sin distorsiones?)
- También se puede hablar de la teoría de Maxwell y la predicción de la velocidad de la luz a partir de medidas eléctricas y magnéticas independientes del sistema de referencia.



**M1a - PROBA DE RETENCIÓN:** Explicación Experimento de Michelson

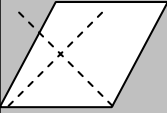


Como sabes, o científico Michelson quixo aplicar estas mesmas ideas para averiguar o movemento do Sistema Solar polo espazo absoluto, e para elo deseñou un experimento similar coa luz en lugar do son. Posto que a Terra avanza arredor do Sol, debería haber un retraso no tempo de chegada na dirección do avance. O aparello de Michelson era capaz de detectar dito retraso, e polo tanto calquera retraso maior sería debido ao movemento do Sistema Solar, que era o seu obxectivo. Para a súa sorpresa, non detectou ningún retraso.

a) Comenta como se pode explicar ese resultado negativo, e as consecuencias que tivo.

b) Explica o anterior utilizando as gráficas de espazo/tempo.

**Explicación de la Ficha**  
**M1a - PRUEBA DE RETENCIÓN: Explicación Experimento de Michelson**



**Actividad de EVALUACIÓN**

Esta ficha fue diseñada, en principio, para formar parte de una batería de pruebas con las que se pretendía medir la retención de las ideas del alumnado al cabo de varios meses (de este modo, superando la retención de carácter temporal y no significativa de la memoria a corto plazo).

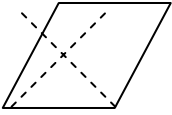
Sin embargo, por su formato podría ser usada también como actividad de aplicación.

La introducción del texto explicativo se refiere a otra actividad previa (ficha G1a, prueba de retención para la UD Galileo), en la que se abordaba el caso de un autobús en el que se realizaba un experimento de medición de la velocidad de la luz a favor y en contra de la marcha del vehículo.

La conclusión esperada de dicha actividad era que habría una diferencia en los tiempos de llegada de ambas señales a partir de la cual se podría averiguar la velocidad del autobús. El experimento de Michelson, por el contrario, dio un resultado negativo que sólo se pudo justificar aceptablemente a partir de la Teoría de la Relatividad Especial,

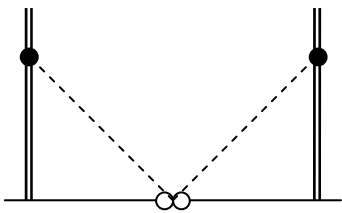
Al final de la ficha G1a se preguntaba por lo que pasaría realizando el experimento en un autobús cerrado. Se puede relacionar aquél razonamiento con uno de los argumentos posibles para justificar el resultado nulo obtenido por Michelson: que la Tierra arrastraría al éter luminoso en su camino de la misma forma que el autobús cerrado arrastra el aire de su interior.

Es evidente que el autobús precisa de unas paredes para arrastrar el aire que contiene, mientras que en la Tierra no existe nada parecido. La atmósfera terrestre está retenida por la gravedad, pero el “éter”, si existiera, estaría por todo el espacio vacío, aún en ausencia de gravedad (pues de lo contrario no se podrían ver las estrellas), con lo que se presenta una contradicción en esa justificación.



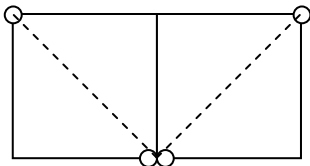
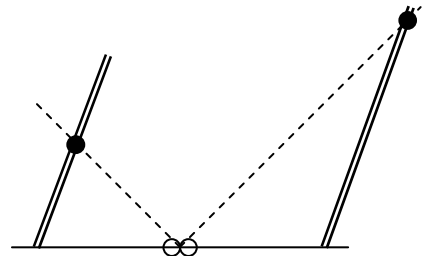
**M2i - CONSIDERACIÓNS SOBRE O EXPERIMENTO DE MICHELSON**

Nas seguintes figuras represéntase un suceso análogo ao experimento realizado, mais desta vez totalmente teórico:



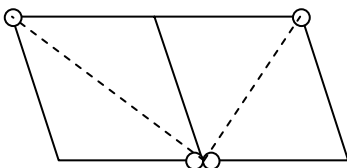
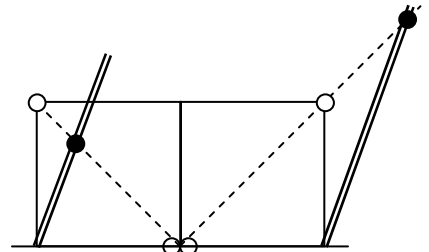
-Esquerda: dous raios de luz móvense sobre unha mesa, con velocidades opostas iguais. As barras verticais indican os topes, e os puntos negros os instantes de chegada a cada un.

-Dereita: o mesmo que antes, mais desta vez a mesa cos topes desprázase cara a dereita. Comproba que corresponde co que observaches na práctica.



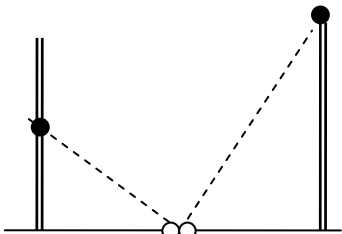
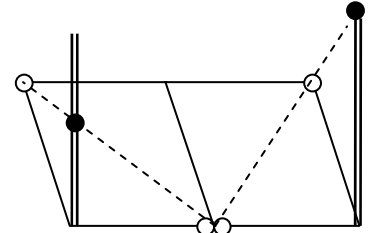
-SR do medio polo que se propagan os raios de luz (chamarémoslle “éter”, e ben pode ser o propio valeiro polo que sabemos que a luz, ao contrario do son, pódese desprazar. Isa é a razón de que poidamos ver as estrelas pola noite.)

-Na figura da dereita superpóñense o SR do “éter” e as liñas correspondentes aos dous topes, nas que os puntos negros indican o momento de impacto dos raios neles.



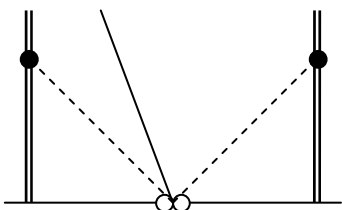
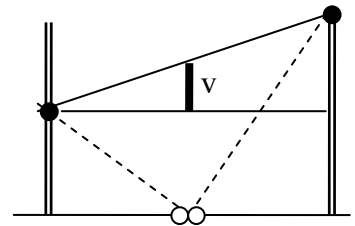
-A esquerda aplicamos a transformación de Galileo ao SR do “éter”, de xeito a poder representar o que acontece dende o punto de vista do laboratorio (que está anclado aos topes).

-Superpoñemos novamente as liñas dos topes (que desta vez están en repouso co laboratorio, e comprobamos como continúa a diferenza de tempos de chegada de cada raio (figura da dereita).



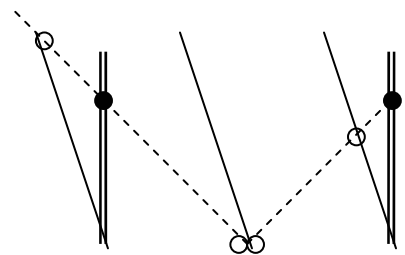
-A partir das diferencias nos tempos de chegada podemos calcular a velocidade coa que se move o noso laboratorio con respecto do “éter”. Na ficha da práctica podemos ver as figuras do centro para comprobar que a velocidade, en unidades relativas, é igual á

altura da liña indicada na figura da dereita (altura sobre a horizontal no punto medio da liña que une ambos puntos negros).

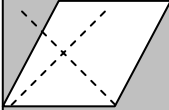


-A figura da esquerda representa o que sucedería se non houbose diferenza nos tempos de chegada de cada móvil ao seu tope, aínda que saibamos que o laboratorio está en movemento (como é o caso da Terra, que avanza polo espacio ao redor do Sol).

Intenta completar a figura da dereita mediante unha transformación do SR na que encaixase este suceso. Na última figura da ficha da práctica reproduce a transformación que fixeches aquí (se non sabes como, pide axuda ao profesor).



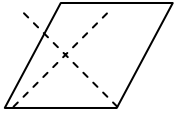
Explicación de la Ficha  
**M2i - CONSIDERACIONES SOBRE RL EXPERIMENTO  
DE MICHELSON**



Actividad de ESTRUCTURACIÓN

En esta actividad se pretende guiar al alumnado por un camino visual en el cual resultará evidente la necesidad de que haya una diferencia observable en el experimento de Michelson si se cumple la transformación de Galileo (es decir, se vincula de forma gráfica la transformación de Galileo vista y analizada en la UD anterior con una de sus consecuencias necesarias. Hasta ahora habíamos visto que todas las consecuencias del análisis gráfico de la transformación de Galileo llevaban a resultados lógicos y coherentes con la experiencia inmediata o incluso servían para explicar situaciones de movimiento y reposo relativos como era el caso del avión volando hacia el Oeste. Si el alumnado fue capaz de apreciar y operativizar dicho análisis de las consecuencias físicas que se deducen del análisis gráfico, no puede dejar de sorprenderse por que ahora aparezca un resultado experimental que no encaja con lo anterior.

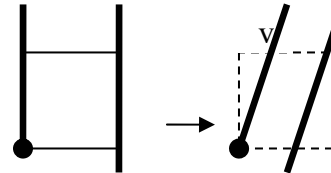
Dado que las gráficas constituyen un “todo” geométrico y visual, puede hacerse plausible la necesidad de cuestionar la forma geométrica de la transformación de Galileo y aceptar las consecuencias físicas que inevitablemente aparecerán posteriormente. Esto es lo que se sugiere en la última parte de la actividad.



## M2t - CONSECUENCIAS DO EXPERIMENTO DE MICHELSON

Vimos antes que o intento de Michelson de medir a velocidade absoluta da Terra deu un resultado negativo. A razón está en que a luz viaxa á mesma velocidade en calquera dirección. Imos considerar, como fixeron Lorentz e Poincaré, que a velocidade da luz non depende da velocidade do Sistema de Referencia (SR) no que se mida. Isto entra en contradicción coa nosa intuición, segundo a cal a luz debería ter unha velocidade diferente cando viaxa a favor que cando viaxa en contra do movemento do observador.

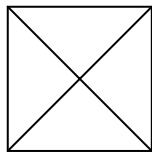
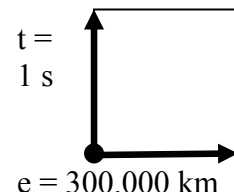
Lembra que cando construimos a figura da transformación de Galileo había un momento no que deixabamos de lado as leis físicas e acudíamos á intuición. Ata ese momento, tiñamos chegado á conclusión de que a figura dunha transformación de SRI debería ser un paralelogramo coas paredes



inclinadas dacordo á velocidade do SRI:

Agora, imos incorporar a idea nova: A velocidade da luz é a mesma en calquera SRI.

Antes de nada, construiremos un cadrado coas seguintes dimensións: 300.000 km de base e 1 s de altura..

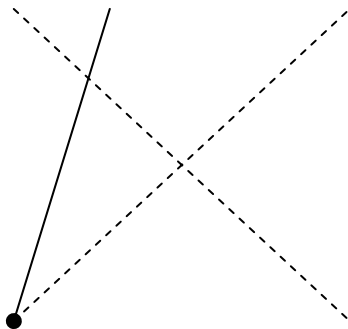
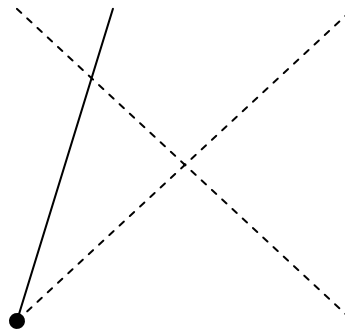
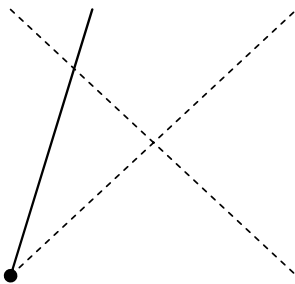


Que velocidade terán as partículas que se movan dacordo ás dúas rectas diagonais representadas?

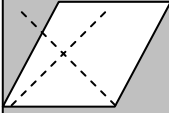
Que indican as diagonais do cadrado?

Se a velocidade da luz non varía ao pasar ao novo SRI, onde deben estar os vértices do paralelogramo?

Intenta construír varios paralelogramos que cumpran dita propiedade. Que se observa?



Explicación de la Ficha  
**M2t** - CONSECUENCIAS DEL EXPERIMENTO DE  
MICHELSON



Actividad de APLICACIÓN

Esta actividad constituye un nuevo intento de confrontar al alumnado con la ruptura introducida en el paradigma galileano por el resultado discrepante obtenido en el experimento de Michelson y Morley. Aquí se utiliza una gráfica espacio-temporal analizada en detalle en las dos Unidades anteriores (Aristóteles: A2t, Galileo: G2t): El Sistema de Referencia Tierra-Luna.

Recordemos que una de las propiedades del mismo era que la velocidad de la luz correspondía con la diagonal del cuadrado de referencia en el espacio-tiempo del sistema en reposo.

Ahora se ofrece directamente al alumnado la posibilidad de intentar encajar por sí mismo las piezas del siguiente puzzle lógico: Cómo se puede compaginar el hecho de que la velocidad de la luz no varíe al pasar a un SRI con el hecho de que estamos ante una transformación de SR que implica necesariamente la deformación del cuadrado original?

Esto tiene una traducción automática al lenguaje gráfico-visual:

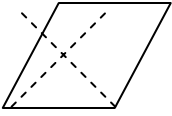
Cómo podemos deformar un cuadrado de forma que los vértices de la figura transformada sigan estando sobre las diagonales?

En realidad, existen soluciones gráficas diferentes para esta pregunta, y sería deseable que apareciesen varias de ellas, para poder introducir el siguiente punto:

Recordemos que la transformación de SRI no puede tener cualquier forma. Cuando dedujimos la forma de la transformación de Galileo (actividades G1i y G1t), vimos por aplicación de leyes físicas que la figura resultante tenía que ser un paralelogramo.

Y ahora sí, de todas las figuras propuestas nos quedaríamos solamente con una, que va a ser la transformación de Lorentz. Esto si hubo suerte y alguien la propuso, si no podría hacerlo el profesor, o bien dejar un interrogante en el ambiente hasta la siguiente sesión.

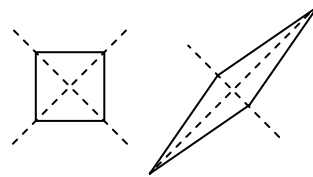
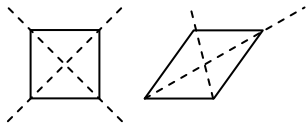
Puede ser interesante reflexionar en este punto sobre la naturaleza aparentemente simple de algunas de las ideas que produjeron los grandes avances científicos, y de la necesidad de un rigor metodológico para llevarlas hasta sus últimas consecuencias.



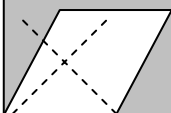
**M2a - PROBA DE RETENCIÓN: Invarianza da velocidade da luz (Michelson)**

a) Explica cómo se deriva a teoría da Relatividade a partir dos resultados experimentais de Michelson ou da teoría de Maxwell.

b) Explica as seguintes figuras e utilízalas para xustificar o anterior dun xeito gráfico.



Explicación de la Ficha  
**M2a** - PRUEBA DE RETENCIÓN: Invarianza de la  
velocidad de la luz (Michelson)



Actividad de EVALUACIÓN

Esta actividad pertenece igualmente a la batería de pruebas aplicadas varios meses después de realizada la instrucción para analizar el grado de retención de las ideas y conceptos por la memoria a largo plazo, indicando un aprendizaje significativo.

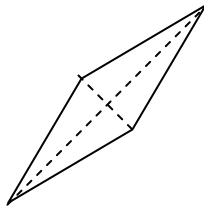
En esta caso, estamos proponiendo al alumnos simplemente realizar una justificación de la transformación de Lorentz sobre un par de gráficas que resumen toda la información manejada durante la UD. Dado que todavía no han trabajado con dicha transformación, el hecho de presentar esta prueba en los momentos inmediatamente anteriores a ello permite ver hasta qué punto el alumnado es capaz por sí mismo de razonar sobre las figuras a partir de su esencia geométrica y visual.

Es interesante resaltar que esta figura, por sí mismos, resumiría toda la información que se va a presentar a continuación durante las tres unidades Didácticas dedicadas a explorar la Teoría de la Relatividad de Einstein y sus consecuencias de todo tipo.

Merece, pues, que le dediquemos un poco de atención ahora que aparece por primera vez.

# Lorentz

## Visualización de la Relatividad Especial



Esta Unidad Didáctica constituye el núcleo central de la secuencia didáctica, por varias razones:

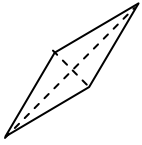
Las Unidades previas (Aristóteles, Galileo y Michelson) constituyen preparativos intelectuales necesarios para poder abordar a esta altura el aprendizaje visual efectivo de la Teoría de la Relatividad Especial de forma visual.

Las Unidades siguientes (Einstein, Hubble), por su parte, se dedicarán a explorar las diferentes aplicaciones de la nueva teoría geométrica del espacio-tiempo que se aborda en esta Unidad.

El método visual seguido hasta el momento permitirá al alumnado aprovechar esta Unidad para deducir por sí mismo la forma geométrica de la transformación de Sistema de Referencia Inercial (SRI) que está en la base de toda la teoría de la Relatividad Especial, emulando de este modo la hazaña intelectual de figuras como Lorentz o Einstein, con la carga emotiva que ello puede llegar a significar.

Una correcta visualización de los diagramas introducidos en esta Unidad permitirá entender (e incluso deducir por uno mismo) las consecuencias físicas de los mismos en las Unidades posteriores..

El procedimiento gráfico-visual que se seguirá en esta Unidad Didáctica, por otro lado, sigue casi paso a paso el que en su momento se realizó en la Unidad de Galileo, por lo que la metodología será hasta cierto punto bastante familiar para los alumnos.



## Ld - DEBATE SOBRE O PARADOXO DOS XEMELGOS

Como xa

sabemos, Michelson tentou averiguar a velocidade coa que se move a Terra polo espacio absoluto a partir da diferenza das velocidades da luz cando vai a favor e en contra dese movemento. Para a súa sorpresa, o resultado do experimento foi negativo. O físico holandés Lorentz propuxo unha teoría na que o espacio e o tempo se inclinaban de forma que a velocidade da luz non variase. Dese xeito, a luz viaxaría libremente polo valeiro, e sempre á mesma velocidade.

Algúns científicos foron máis alá, e dixeron que se o espacio e o tempo se inclinaban, entón cando dous irmáns xemelgos se separasen e un deles fíxese unha viaxe espacial, ao regreso atoparíase tan rexuvenecido que sería máis novo que o seu irmán.

Imaxina que un dos compañeiros que tes ao teu lado cumpre 17 anos o mesmo día ca ti, e marcha a facer unha viaxe espacial, regresando cando ti cumplas 34 anos. Indica cáles dos seguintes acontecementos serían posibles e cáles non, e por qué.

1-O teu amigo tamén cumpre 34 anos nese mesmo día, aínda que ten un aspecto máis novo que o teu.

2-O teu amigo aínda non cumpriu os 34 anos, pero vains cumprir pronto.

3-O teu amigo aínda non cumpriu os 30 anos.

4-O teu amigo aínda non cumpriu os 18 anos.

5-O teu amigo regresa con 15 anos de idade.

Anota aquí os números dos sucesos que son posibles:

Anota aquí os números dos que son imposibles:

Explica con detalle as túas razóns para ter feito ditas eleccións (se podes, fai algún debuxo ou gráfico explicativo das túas ideas):

Despois xúntate cos demais membros de teu grupo e procurade chegar a unha conclusión común respecto da idade coa que podería regresar o teu amigo cando ti cumplas 34 anos, que poidades defender con argumentos ante os demais grupos.

Grupo N°:

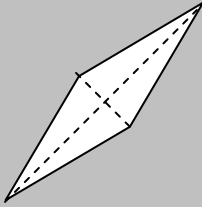
Nomes:

Anota a conclusión:

Razóns:

Opinión persoal:

Explicación de la Ficha  
**Ld - DEBATE SOBRE LA PARADOJA DE LOS GEMELOS**



Actividad de EXPLORACIÓN inicial

La mecánica recomendada para estos debates está explicada en las páginas de la Introducción.

Se indican a continuación algunos ejemplos de frases que pueden ser usadas a conveniencia por el profesor/a para animar u orientar las discusiones del alumnado:

.....

Relatividade:

*-Se os irmáns desen a volta á Terra nun día en direccións opostas, deberían regresar coa mesma idade. Pero un deles tería permanecido en repouso respecto do Sol, polo que non debería notar o efecto rexuvenecedor do seu irmán.*

Grupos de frases contradictorias:

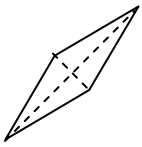
*1-O amigo que marchou na nave regresará rexuvenecido porque non sofre as mesmas agresións ambientais que os que permanecemos na Terra (contaminación, gravidade, raios UVA, etc). Pero os anos tívoos que cumprir igualmente.*

*2-A transformación de Lorentz é correcta para explicar o experimento de Michelson e a composición de velocidades, pero as demais consecuencias non son reais.*

*-Se a transformación de Lorentz é correcta, entón as súas consecuencias tamén son reais. Polo tanto, dende un SR en movemento, os reloxios van máis lentos e as variñas miden menos. E a masa pódese transformar en enerxía.*

*-Se a masa se poidera transformar en enerxía, entón tamén se podería transformar a enerxía en masa!*

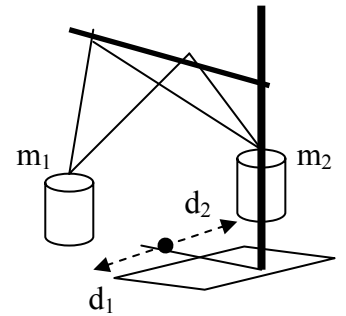
*3-Se é posible regresar máis novo dunha viaxe espacial, entón tamén se pode viaxar ao pasado. Nese caso, poderíamos chegar a impedir que o noso pai e a nosa nai se tivesen coñecido ...*



**Lp1 – PÉNDULOS: CHOQUE ELÁSTICO E INELÁSTICO (descripción práctica)**

**MATERIAIS:**

-Variña, Noz e Base soporte, -Fío de nylon, -Plastilina, -Cinta “velcro” adhesiva. -2 Caixiñas cilíndricas de plástico, -2 Esferiñas de madeira furadas (ou de aceiro con gancho)

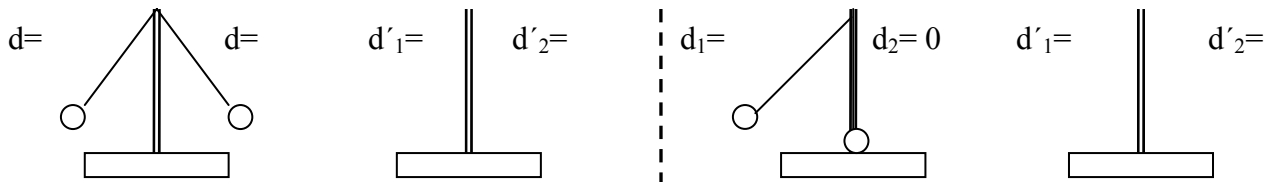


**PROCEDEMENTO:**

Penduramos cada esfera e cada un dos botes mediante dous fíos de nylon da variña, de xeito que se poidan soltar de diferentes distancias (medidas en horizontal, dende o punto central), e sempre choquen entre eles. Facer varias probas ata comprobalo.

Choque elástico (esferas de madeira ou aceiro)

Penduramos as dúas esferas da variña, dacordo ás posicións iniciais representadas nos diagramas (anota os valores en cada caso), e observa o que sucede ao soltalas. Para medir a distancia a que chegan despois do choque, cada un debe atrapar unha das esferas no punto mais distante a que chegan. Nas figuras ao lado de cada caso, representa as posicións finais de cada esfera despois do choque:



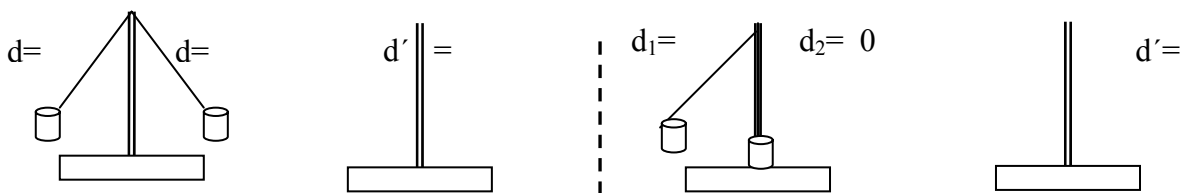
1º caso: distancias iniciais iguais ( $d_1 = d_2 = d$ )

2º caso: unha das esferas en repouso ( $d_2 = 0$ )

Compara o caso 1º co caso 2º:

Choque inelástico (botes de plástico)

Rodeamos cada un dos botes con cinta adhesiva “velcro”, de xeito que cando choquen non se separen. Botamos a mesma cantidade de plastilina en cada bote, pendurámolos de xeito que choquen no centro, e repetimos os dous casos anteriores, procurando medir a distancia a que chegan os botes unidos despois do choque ( $d'$ ):

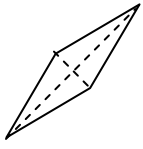


1º caso: distancias iniciais iguais ( $d_1 = d_2 = d$ )

2º caso: un dos botes en repouso ( $d_2 = 0$ )

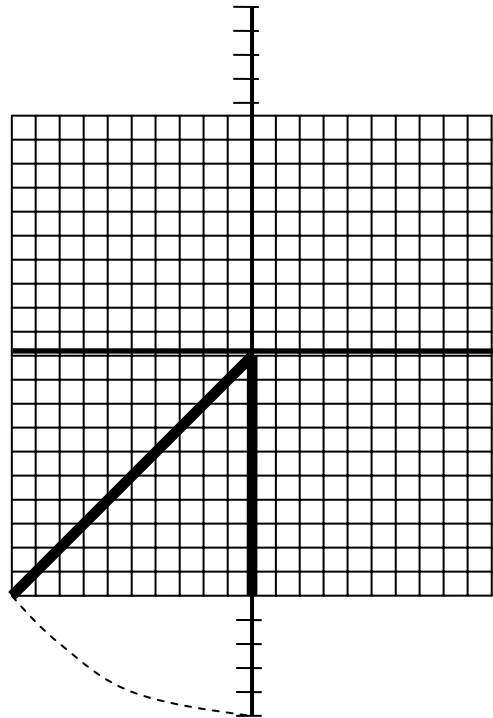
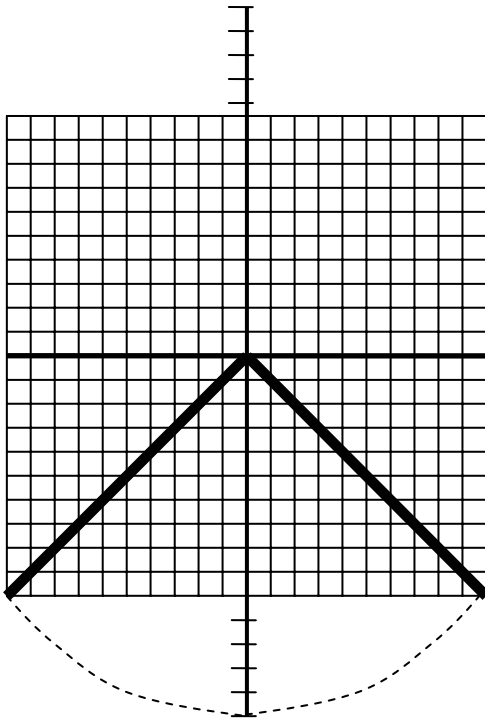
Compara o caso 1º co caso 2º:

Compara agora os choques elásticos cos inelásticos. Anota as diferencias que observes (aparte de que os masas se separen nun caso e se xunten no outro):

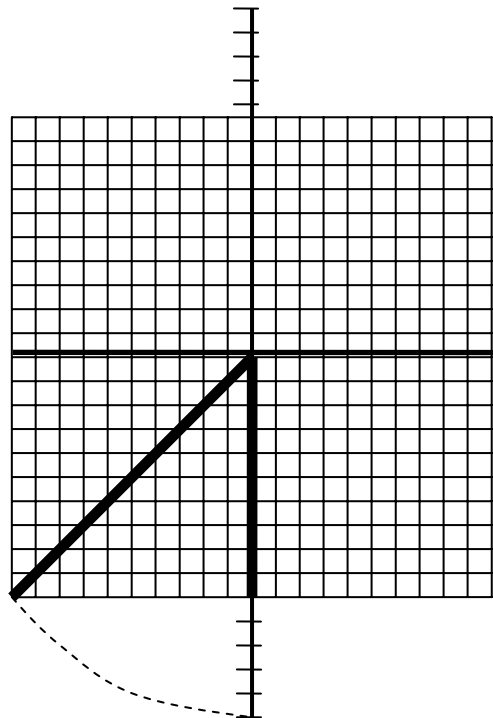
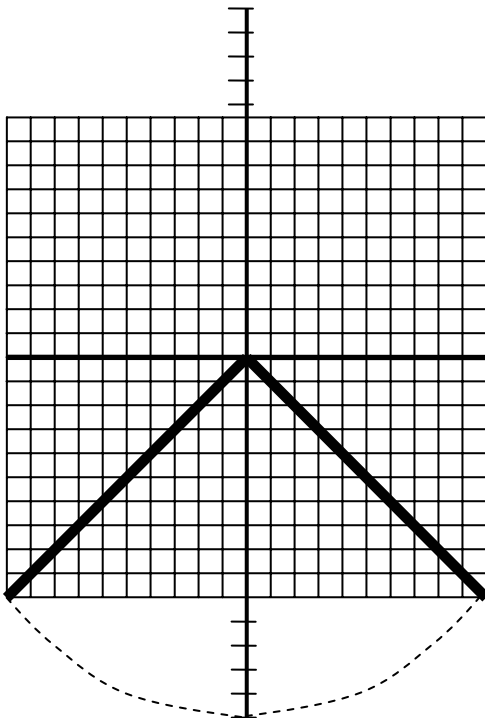


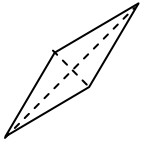
**Lp2 – PÉNDULOS: CHOQUE ELÁSTICO E INELÁSTICO (resultados gráficos)**

Choques elásticos



Choques inelásticos

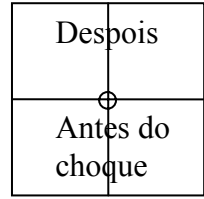




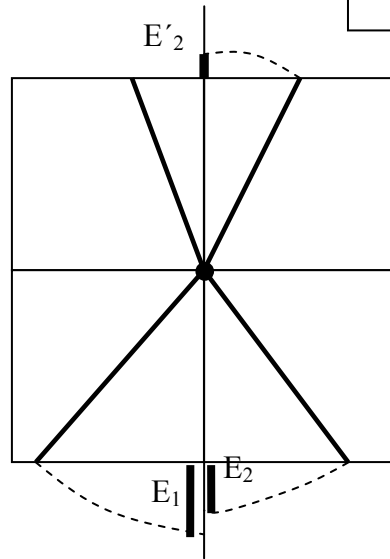
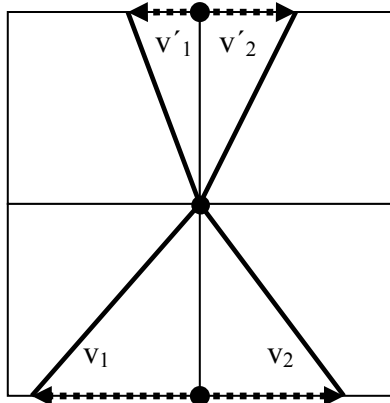
**Lp3 – CHOQUE ELÁSTICO E INELÁSTICO (análise dos resultados)**

Os choques pódense representar e resolver mediante os diagramas espacio-temporais:

Para elo, debuxamos un diagrama e/t composto por 4 cadrados, no que o punto central representa o momento do impacto:

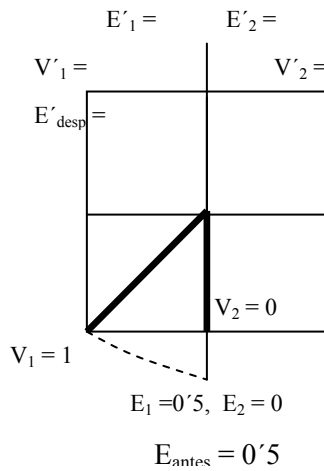
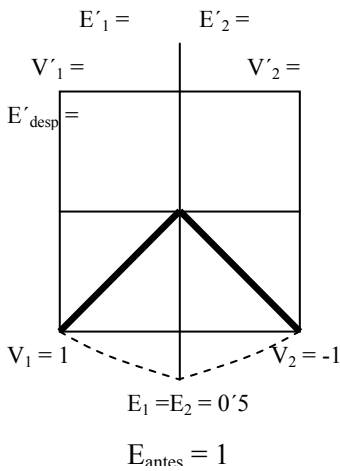


Nestes diagramas pódese medir directamente a velocidade (diagrama inferior), así como a Energía cinética de cada obxecto (diagrama da dereita).



As liñas de puntos son parábolas (en primeira aproximación, faremos arcos de circunferencia).

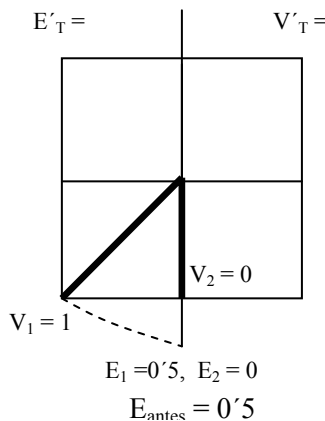
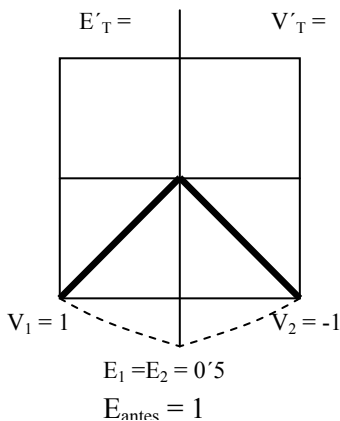
Representa os 4 choques da práctica na ficha cadrada, e anota os valores nesta::  
Choques elásticos:



Canta Enerxía se perde?

Como varía o movemento do cdm no choque?

Choques inelásticos: Como a masa final é dobre da inicial, a  $E_c$  final será o dobre do que midas na gráfica.



Canta Enerxía se perde?

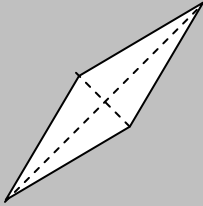
Como varía o movemento do cdm no choque?

### Explicación de las Fichas

**Lp1** – PÉNDULOS: CHOQUE ELÁSTICO E INELÁSTICO  
(descripción práctica)

**Lp2** – PÉNDULOS: CHOQUE ELÁSTICO E INELÁSTICO  
(resultados gráficos)

**Lp3** – CHOQUE ELÁSTICO E INELÁSTICO (análisis de los resultados)



### Actividad de INDAGACIÓN

En esta actividad se presenta una práctica con la que se va a poder introducir el concepto de energía cinética de una forma visual operativa. De los conceptos físicos manejados en esta secuencia didáctica tal vez sea este el más difícil de visualizar.

La experiencia se basa en el análisis geométrico de choques entre masas sustentadas por hilos colgados de un mismo punto (péndulos concéntricos). Las masas de ambos péndulos son iguales, para facilitar la interpretación mediante comparaciones visuales y mediciones gráficas.

La primera ficha (Lp1) presenta una introducción de carácter cualitativo-visual a las diferencias y analogías entre un choque elástico y uno inelástico.

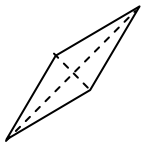
Para cada tipo de choque se realizan dos experiencias, una de carácter simétrico, en que ambas masas

La segunda ficha (Lp2) nos permite representar gráficamente las situaciones inicial y final en cada tipo de choque.

La tercera ficha (Lp3) constituye una interpretación de la información contenida en las gráficas anteriores, para poder leer en las mismas directamente las velocidades y energías antes y después de cada choque.

Al principio de la ficha, se establece una interesante y fructífera analogía entre la representación de los péndulos y la gráfica espacio-temporal del choque.

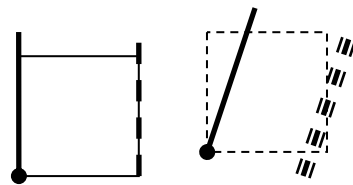
Finalmente, se realizan las comparaciones necesarias para establecer los principios de conservación de la energía y de la trayectoria del centro de masas de forma gráfica, resultados que usaremos posteriormente junto con las conclusiones de la actividad A2p, (Equilibrio de masas - Aristóteles) para justificar visualmente la equivalencia relativista entre masa y energía.



**Li - INFORMACIÓN sobre a Transformación de LORENTZ**

**1. Construcción** a partir de leis físicas

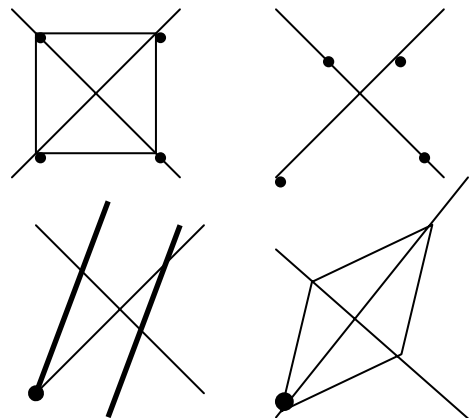
a) Pasos previos: Son os mesmos que vimos na Relatividade de Galileo: o cadrado de  $e/t$  transfórmase nun paralelogramo, coas “paredes” inclinadas dacordo á velocidade relativa  $v$ .



b) Para completar a figura, acudimos ao resultado da experiencia de Michelson e Morley (que está dacordo coa teoría electromagnética de Maxwell):

A velocidade da luz é a mesma en calquera Sistema de Referencia (S.R.).

Como usamos unhas escalas de espacio e tempo nas que a velocidade da luz é igual a 1 (as diagonais do cadrado son raios de luz), os vértices do paralelogramo teñen que estar sobre 2 rectas coa mesma inclinación que as diagonais.



Podemos comprobar nas seguintes figuras que a única forma de compaxinar a) con b) consiste en transformar o cadrado inicial nun rombo inclinado de forma que as “paredes” manteñan a velocidade relativa  $v$  e os 4 vértices estean sobre as diagonais (raios de luz).

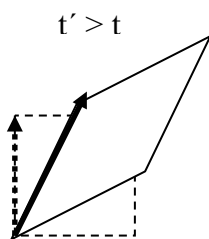
Ainda quedaría por definir o tamaño do rombo, e para elo acudimos á conservación da “superficie do  $e/t$ ”

(igual que na transformación de Galileo): A superficie do rombo ten que ser igual á do cadrado inicial. Como a superficie dun rombo ven dada pola fórmula  $S = \frac{1}{2} D \cdot d$ , para que se manteña constante debe estirarse a diagonal maior ( $D$ ) na mesma proporción en que se encolle a diagonal menor ( $d$ ).

**2. Consecuencias**

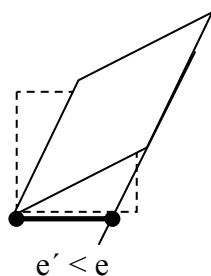
Como resultado da transformación de Lorentz, os obxectos en movemento teñen propiedades diferentes do que a nosa intuición espera:

a) Dilatación temporal:



O tempo transcurre máis lentamente

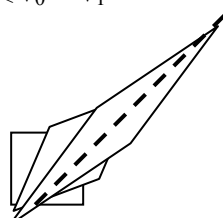
b) Contracción espacial



As distancias fanse máis curtas

c) Límite na composición de velocidades

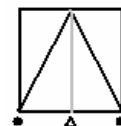
$$v_2 < v_0 + v_1$$



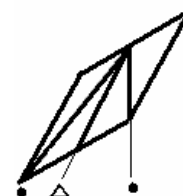
Límite: a velocidade da luz

Nada pode ir máis rápido que a luz

d) Equivalencia entre masa e enerxía



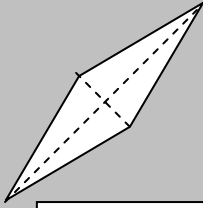
Equilibrio  
 $m = m$



Desequil.  
 $m + Ec > m$

Enerxía nuclear:  
(cando  $c = 1$ :  $E = m$ )  
En xeral:  $E = m c^2$

Explicación de la Ficha  
Li - INFORMACIÓN sobre la Transformación de LORENTZ



Actividad de ESTRUCTURACIÓN

Esta actividad constituye el equivalente relativista a la actividad G1i (Información sobre la transformación de Galileo). Como en aquella, se presenta la información necesaria para construir por uno mismo la forma geométrica de la transformación de SRI, pero en este caso de acuerdo con la Relatividad especial (Lorentz). Para ello, se empieza presentando el SR original como un “cuadrado” (que ya debería poder ser interpretado correctamente por el alumnado después de haber hecho las actividades de las unidades previas). A continuación, se van explicando diferentes leyes físicas, por lo tanto fundamentadas en la experiencia (conviene insistir en este carácter frente a las ideas “lógicas” o “intuitivas” que aparecen al final):

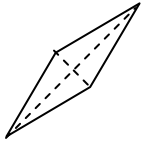
Al contrario que en aquellas, se comienza por la nueva ley: La de conservación de la velocidad de la luz en cualquier SRI. Esta ley va a sustituir los principios intuitivos galileanos de conservación del espacio y del tiempo. Geométricamente, esto equivale a la conservación de las diagonales en cualquier transformación del cuadrado original.

La ley de inercia y el principio de relatividad combinados (ya se vio en Galileo) obligan a que la transformación de SRI deba ser lineal, y por lo tanto la figura resultante debe ser un paralelogramo. No es difícil hacer ver que el único paralelogramo posible que conserva las diagonales es un rombo inclinado  $45^\circ$ .

Y esta es precisamente la forma geométrica de la transformación de Lorentz, la cual contiene toda la información física de la Teoría de la Relatividad Especial de Einstein.

Recordando que la transformación de Galileo conservaba la superficie del espacio-tiempo, incorporamos este resultado para establecer el tamaño del rombo. Este hecho puede ser justificado a partir de principios físicos, como el principio de relatividad, la isotropía del espacio y las propiedades de la inversión de una transformación lineal, pero son aspectos bastante técnicos que oscurecen más que aclaran el interesante resultado conseguido.

Finalmente, se presentan gráficamente varias consecuencias de esta transformación (como se hacía en G2i para el caso clásico), cuyo análisis ocupará todo el resto de la secuencia didáctica global.



## Lt1- SISTEMA DE REFERENCIA TERRA-LÚA (Lorentz)

Nunha actividade anterior describimos un SR et especial , formado pola liña que une a Terra coa Lúa ( 300.000 Km ) e o tempo que tarda a luz en atravesala (1 s, que era tamén o tempo que tardaba un átomo de Minkowskio en desintegrarse): SRA

Lembra os 4 eventos que sucedían nun laboratorio alieníxena (SR.B):

i- 2 raios de luz que saen simultáneamente da Terra e da Lúa con sentidos opostos.

ii-2 átomos de Minkowskio creados simultáneamente na Terra e na Lúa.

iii-2 cápsulas que saen simultáneamente da Terra e da Lúa a 150.000km/s e se empotran cando chocan, permanecendo o cdm sempre en repouso e equidistante das cápsulas.

iv-Unha nave alieníxena de 300.000 km de lonxitude parada entre a Terra e a Lúa.

a) A nave, agora, desprázase a 150.000 km/s da Terra á Lúa

Representa os 4 eventos do SRB no noso SRA, usando os rombos da dereita.

b)Responde razoadamente ás seguintes cuestións (fai as medidas nos gráficos do visor).

i)Qué velocidades levan os 2 raios de luz da copia alieníxena no noso S.R.?.

Varía a velocidade da luz ao pasar dun SR a outro?

Explica iso o resultado do experimento de Michelson?

Por qué?

ii)Tardan o mesmo en desintegrarse os átomos de Minkowskio no SRA que no SRB?.

En qué sistema “viven” máis tempo os átomos?

Qué acontecería se en lugar de átomos fosen dúas persoas xemelgas, unha na Terra e a outra na nave?

iii)Lembra que o cdm das dúas cápsulas non varía o seu movemento co choque, polo que se prolongamos para atrás a liña das dúas cápsulas unidas obteremos a liña do cdm antes do choque.

No SRB, a liña de puntos indica que o cdm está sempre no punto medio das dúas masas, o cal indica que estas son iguais: situación de equilibrio simétrica.

Se trazamos a liña de puntos no SRA, observamos que está desprazada cara unha das masas.

Inflúe a  $E_c$  na posición do cdm?

De qué forma?

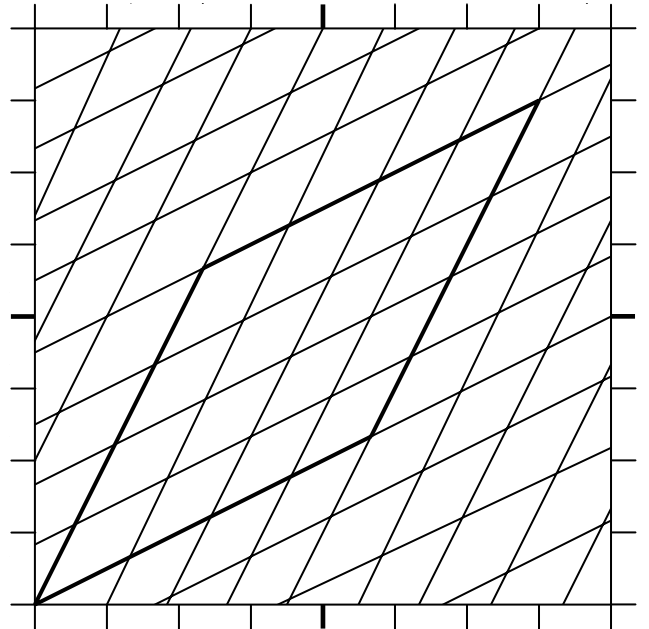
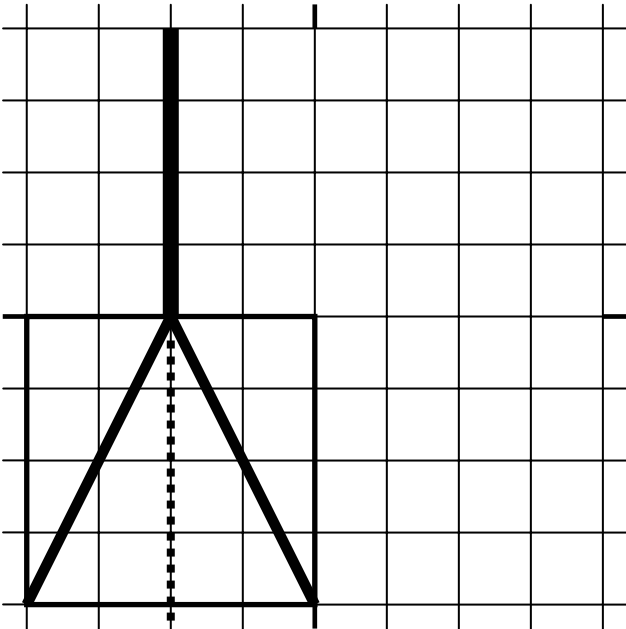
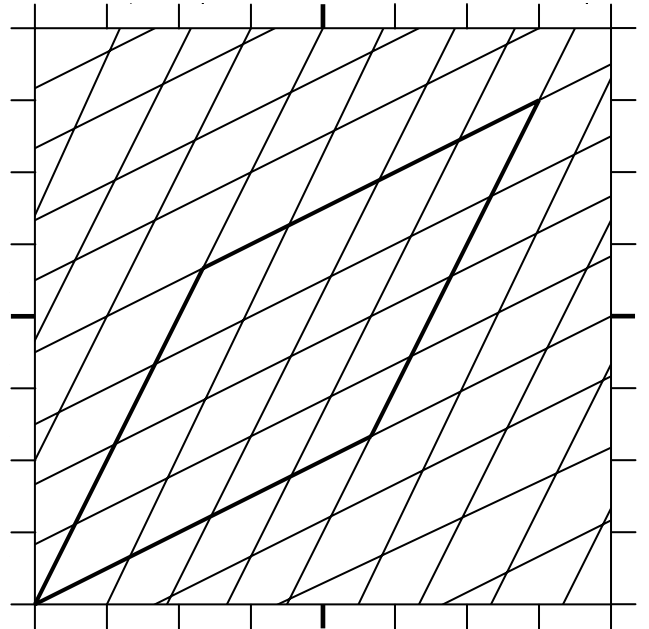
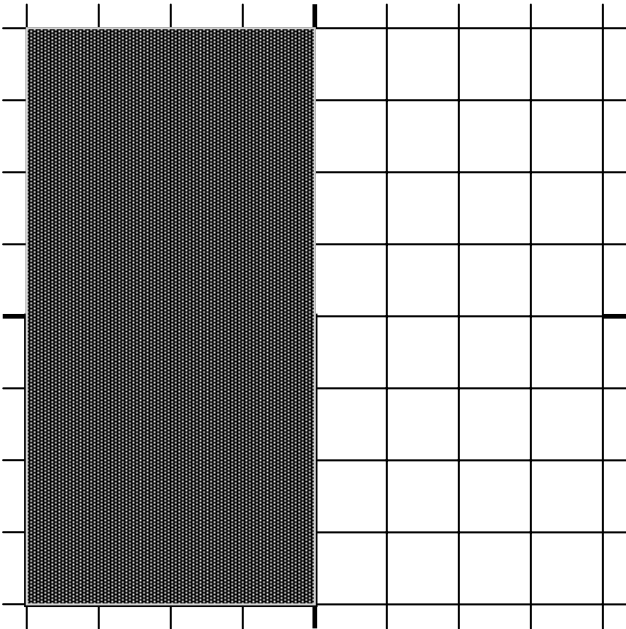
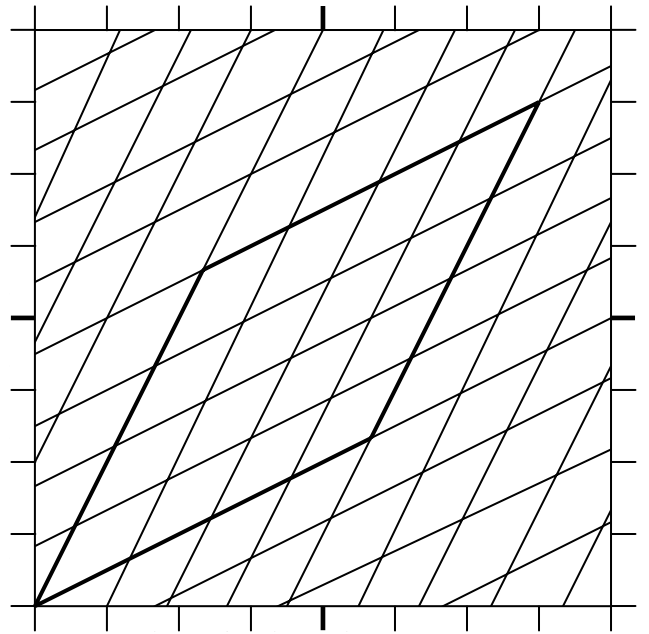
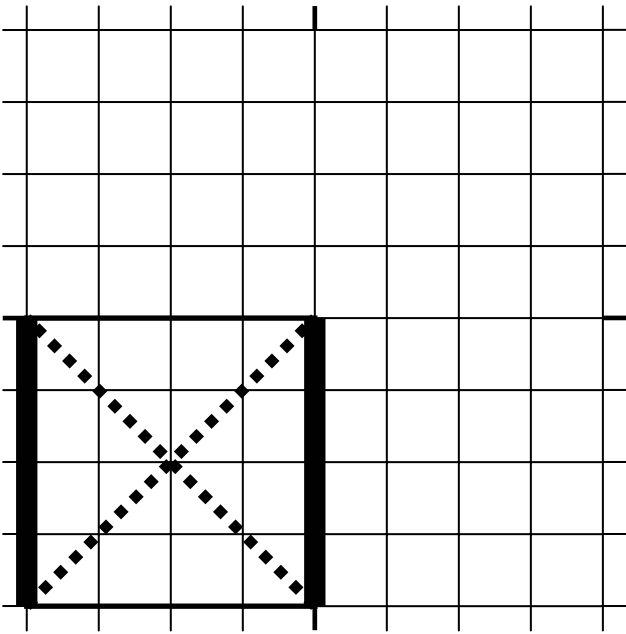
Qué consecuencias terá este feito?

iv) Mide o mesmo a distancia (horizontal na gráfica!) entre a “Terra” e a “Lúa” do laboratorio alieníxena no noso S. de Referencia?.

En qué sistema mide menos?

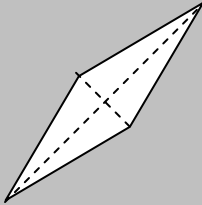
Como variará a medida do tamaño dun corpo cando este pasa movendo a gran velocidade por diante de nós?

Lt2- SISTEMA DE REFERENCIA TERRA-LÚA (Gráficas tr. Lorentz)



## Explicación de las Fichas

**Lt1-** SISTEMA DE REFERENCIA TIERRA-LUNA (Lorentz)  
**Lt2-** SISTEMA DE REFERENCIA TIERRA-LUNA (Gráficas tr. Lorentz)



### Actividad de REESTRUCTURACIÓN

Esta actividad es análoga a la correspondiente para el caso clásico, G2t. Como en aquella, mediante una serie de “pregunta-acción-respuesta” graduales (acompañadas de la correspondiente visualización gráfica) se va permitiendo al alumno sentir que va descubriendo por sí mismo una serie de consecuencias físicas a partir de una figura geométrica.

Se presenta una ficha especial (Lt2, comparar con G2t2) de carácter gráfico por dos razones:

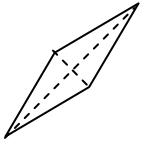
- Para poder realizar medidas en la misma, resaltando así el carácter “físico” (medible) de estos experimentos visuales.
- Para poderla usar con el “Visor espacio-temporal” (ficha A1i2, UD Aristóteles), y de este modo percibir la dinámica asociada a estas figuras.

Se analizan cuatro situaciones:

- i) Conservación de la velocidad de la luz al cambiar de SRI (en Galileo: variación)
- ii) Dilatación de los tiempos (en Galileo: conservación)
- iii) Modificación del equilibrio de masas debido a la energía cinética: Equivalencia entre masa y energía.
- iv) Contracción de las distancias o tamaños (en Galileo: conservación)

Dado que las gráficas de G2t reflejaban el sentido común, las discrepancias que aparecen son contraintuitivas. Sus consecuencias son difíciles de aceptar, y es aquí donde el rigor visual se vuelve necesario.

Es ahora donde hacen su efecto las capacidades adquiridas en la interpretación física de las gráficas espacio-temporales, pues pueden contribuir a hacer más plausibles al alumnado estos “extraños” fenómenos.



### L3 - CUANTIFICACIÓN APROXIMADA DOS EFECTOS RELATIVISTAS

Na ficha seguinte, aparecen tres exemplos de transformación de Lorentz dun SR.

En cada un deles, podes comprobar os efectos relativistas dun xeito numérico:

Primeiro, mide a velocidade relativa  $v = e/t$  no gráfico da dereita

Calcula a velocidade en km/s, multiplicando polo valor de "c" nesas unidades.

Despois, mide as diagonais do cadrado (k) e do rombo (D,d).

Calcula o estiramento diagonal  $e = D/k$ , e a contracción diagonal  $q = k/d$ .

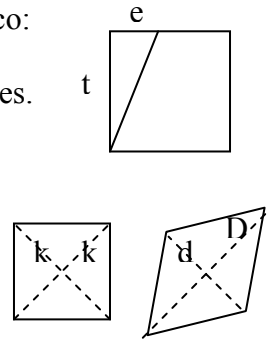
Calcula a superficie do cadrado  $S = k^2/2$  e do rombo  $S' = D \cdot d/2$

Compara o estiramento "e" coa contracción "q".

Compara tamén o valor das superficies do cadrado, S, e do rombo, S'.

Mide finalmente o valor da dilatación temporal ( $t'/t$ ) e da contracción espacial ( $e'/e$ ), fíxate para elo nas figuras da ficha informativa.

Multiplica a dilatación temporal pola contracción espacial.



#### CASO 1:

velocidades  
 $v = e/t =$   $v$  (km/s) =

diagonais  
 $k =$   $D =$   $d =$

$e = D/k =$   $q = k/d =$  Comparación de "e" con "q":

superficies  
 $S = k^2/2 =$   $S' = D \cdot d/2 =$  Comparación de S con S':

Efectos relativistas  
 Dilat. temp:  $t'/t =$  Contr. esp :  $e'/e =$  Producto:

#### CASO 2:

velocidades  
 $v = e/t =$   $v$  (km/s) =

diagonais  
 $k =$   $D =$   $d =$

$e = D/k =$   $q = k/d =$  Comparación de "e" con "q":

superficies  
 $S = k^2/2 =$   $S' = D \cdot d/2 =$  Comparación de S con S':

Efectos relativistas  
 Dilat. temp:  $t'/t =$  Contr. esp :  $e'/e =$  Producto:

#### CASO 3:

velocidades  
 $v = e/t =$   $v$  (km/s) =

diagonais  
 $k =$   $D =$   $d =$

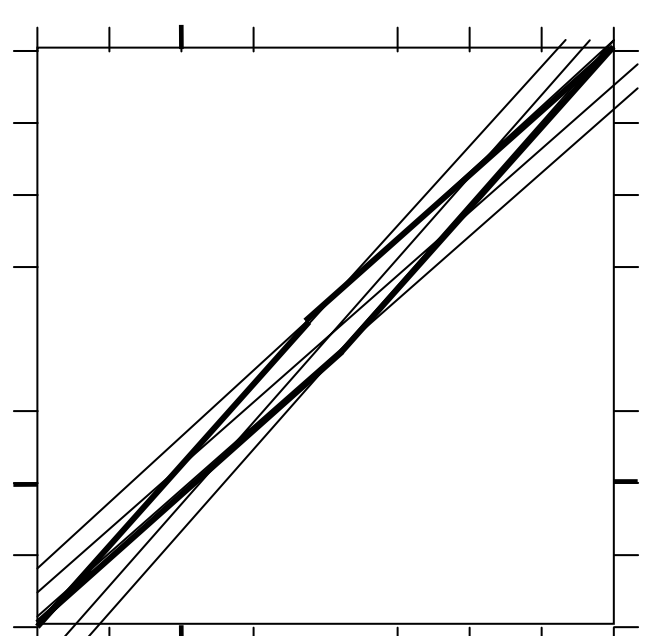
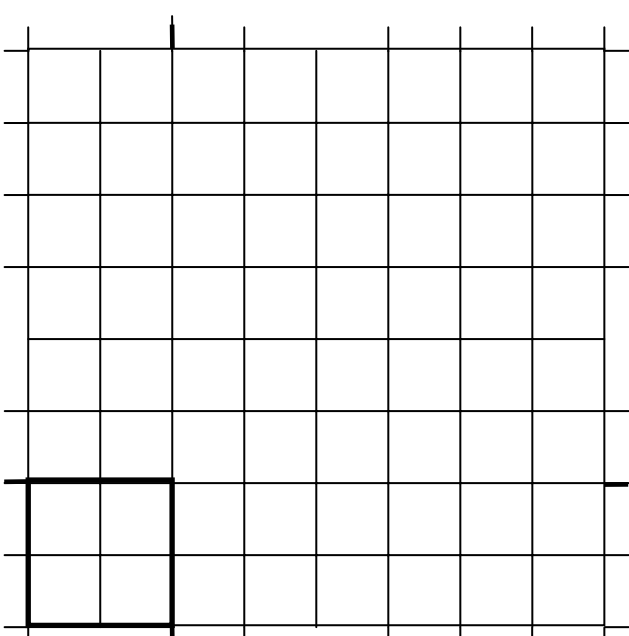
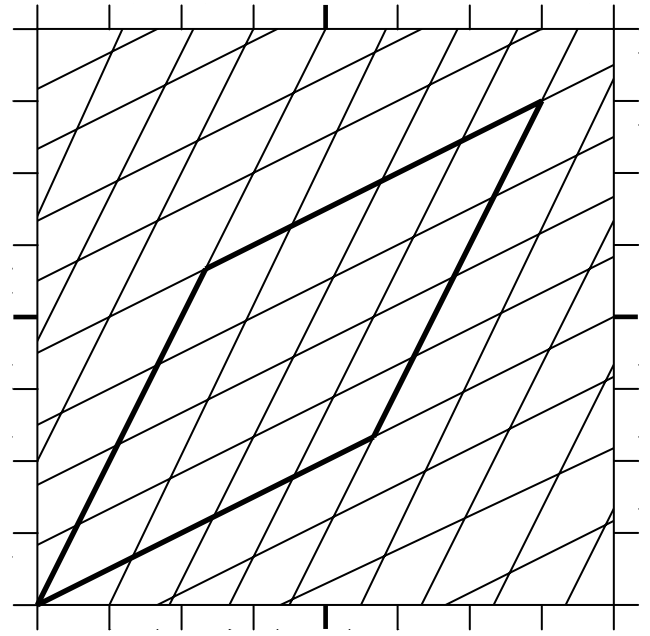
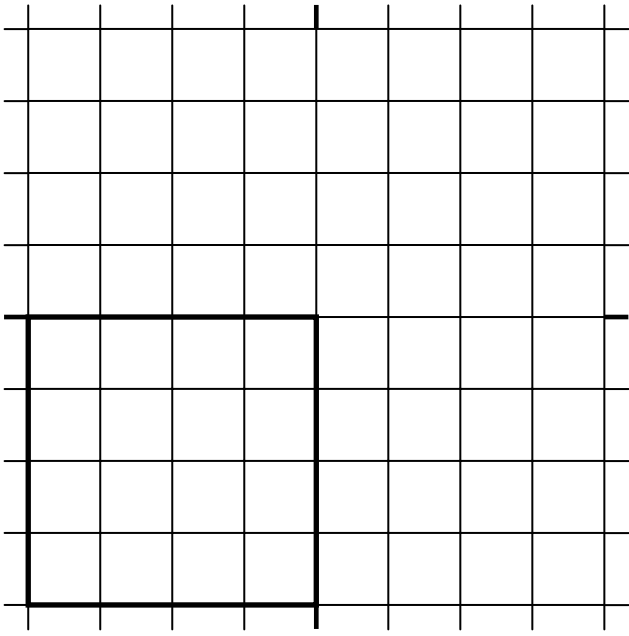
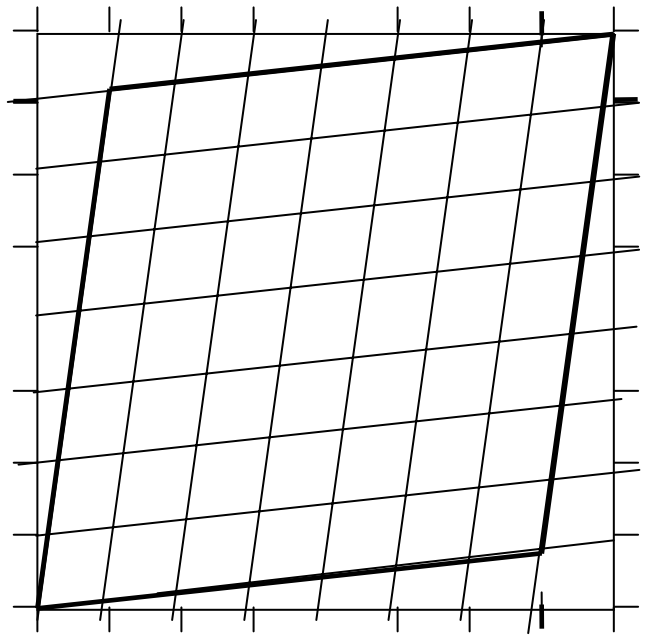
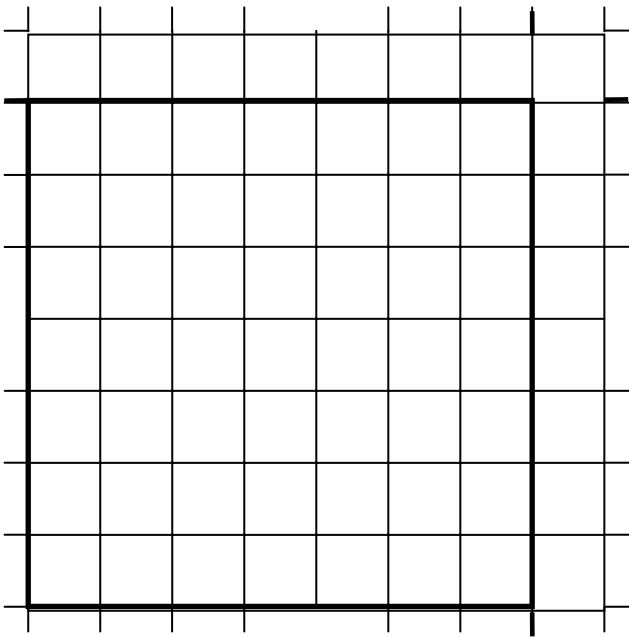
$e = D/k =$   $q = k/d =$  Comparación de "e" con "q":

superficies  
 $S = k^2/2 =$   $S' = D \cdot d/2 =$  Comparación de S con S':

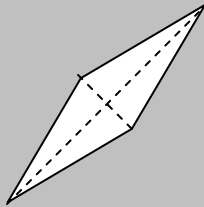
Efectos relativistas  
 Dilat. temp:  $t'/t =$  Contr. esp :  $e'/e =$  Producto:

Escrebe as conclusións que obteñas pola parte traseira da ficha coas cadrículas.

Lt4 - CUANTIFICACIÓN APROXIMADA DOS EFECTOS RELATIVISTAS (gráficas)



Explicación de las Fichas  
**Lt3** - CUANTIFICACIÓN APROXIMADA DE LOS EFECTOS RELATIVISTAS  
**Lt4** - CUANTIFICACIÓN APROXIMADA DE LOS EFECTOS RELATIVISTAS (gráficas)



Actividad de APLICACIÓN

Las actividades anteriores (Li, Lt1, Lt2) ofrecieron al alumnado la información y el camino necesarios para construir la transformación de Lorentz y analizar sus consecuencias físicas de forma inmediata. Vamos a aplicar ahora estos conocimientos para realizar medidas en varias gráficas espacio-temporales.

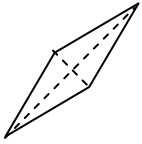
El alumnado está acostumbrado a relacionar Física con medidas, con resultados cuantitativos. Y el método gráfico seguido hasta ahora permite obtener también resultados de este tipo, reforzando la noción de estar haciendo Física, no Geometría.

La ficha Lt3 explica los pasos a dar para extraer la siguiente información numérica relevante de estos gráficos:

- La superficie espacio-temporal (para comparar con la del cuadrado inicial y comprobar la conservación de las áreas)
- La dilatación temporal, la contracción espacial y el producto de ambas (para comprobar que son inversas)

La ficha Lt4 presenta tres casos:

- Cuasiclásico, a velocidades bajas ( $v/c = 1/7$ ). Se comprueba el parecido con la transformación de Galileo
- Intermedio, a velocidades altas ( $v/c = 1/2$ ). Es el caso presentado habitualmente en esta UD porque permite ver los efectos relativistas claramente sin que la deformación sea excesiva.
- Ultrarelativista, a velocidades cercanas a la de la luz ( $v/c = 7/8$ ). Se puede ver que la tendencia al estiramiento y contracción empieza a ser predominante y puede llegar a ser brutal. Algunos alumnos, al ver esta gráfica, dicen que “parece que la materia se va transformando en luz”.



## Lt5 - MAQUETA RELATIVISTA (descripción)

Coa axuda de catro palliñas para sorber refrescos e un anaco de fío de costura podes construír unha maqueta que che servirá para debuxar gráficos relativistas dun xeito aproximado. A aproximación é maior do 95% para valores de  $v$  entre  $0,25 c$  e  $0,85 c$  (entre  $70.000 \text{ km/s}$  e  $260.000 \text{ km/s}$ ).

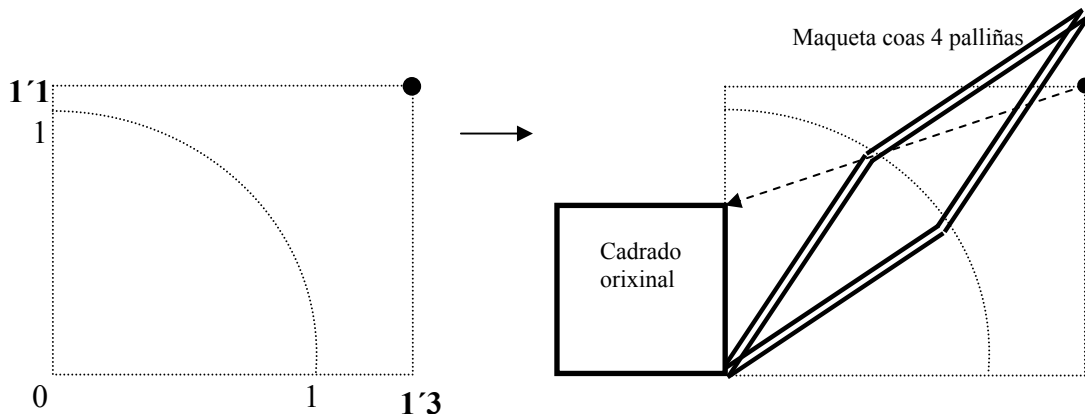
Para elo, tes que recortar as palliñas de xeito que teñan unha lonxitude igual ao raio da circunferencia debuxada na ficha adxunta.

Introducindo despois o fío polos 4 tubiños formados, e atando os extremos, conseguimos unha armazón que se pode transformar nun rombo máis ou menos alongado.

Levando un extremo do rombo ao centro da circunferencia, colocamos o extremo oposto sobre a diagonal (líña de puntos).

Podemos axustar a figura de xeito que a inclinación dos lados corresponda coa velocidade relativa desexada (para iso, prolongamos a recta ata chegar á escala indicada na gráfica).

Unha vez que temos a maqueta adaptada á inclinación desexada, reconstruímos o cadrado orixinal á esquerda. Para elo, trazamos unha liña desde o punto negro ata o punto de contacto do rombo coa circunferencia (ver na figura como se fai), e prolongando ata o eixe vertical obtemos a altura do cadrado, que levamos ao eixe horizontal para completar a figura.



Usa a ficha gráfica para construír unha transformación de Lorentz, e mide na mesma:

Velocidades relativa e absoluta (km/s):

Diagonais do cadrado ( $k$ ) e do rombo ( $D,d$ ):

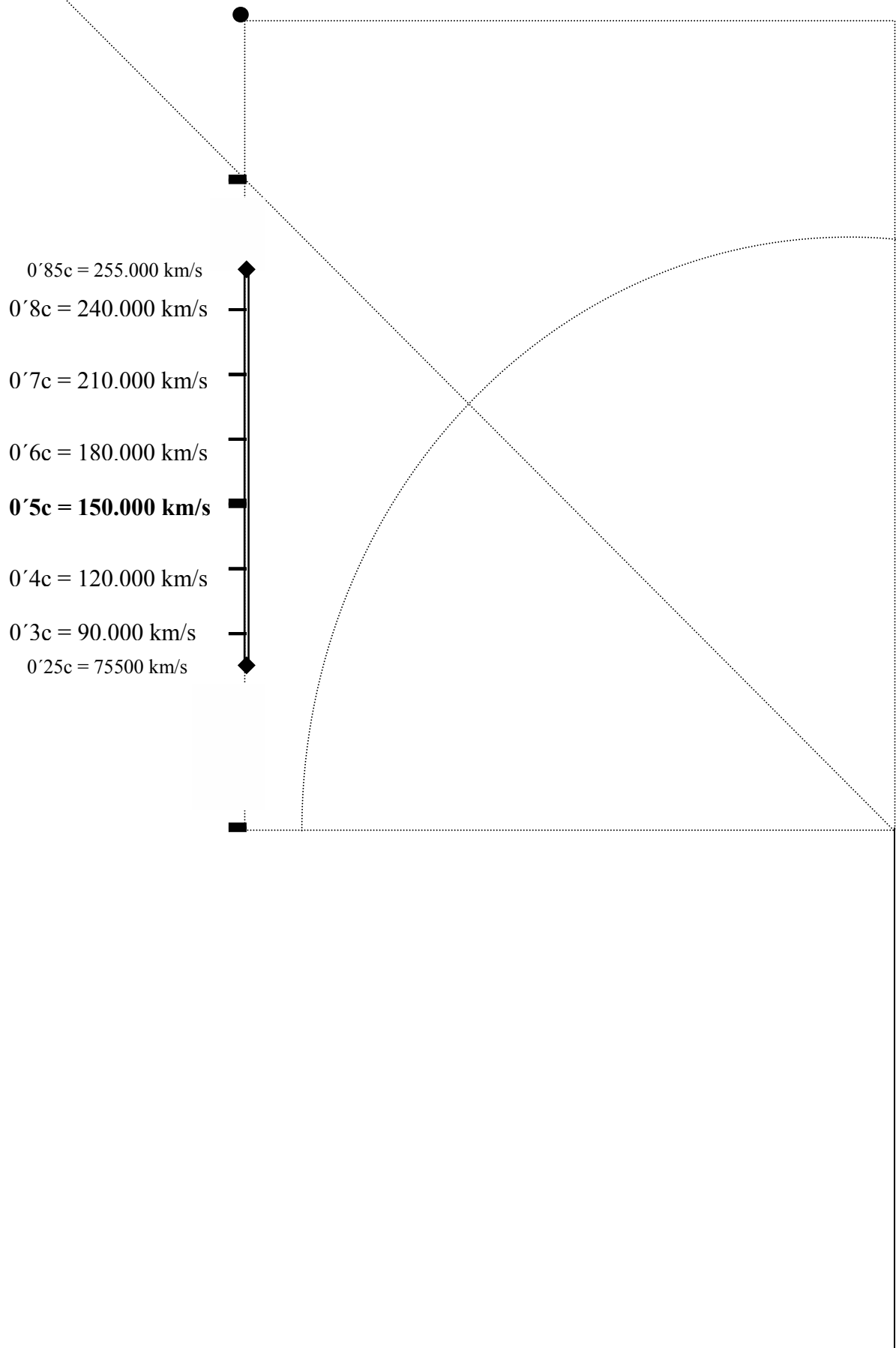
Superficies do cadrado e do rombo:

Dilatación temporal:

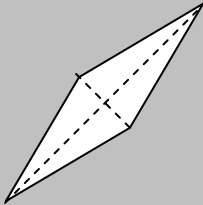
Contracción espacial:

Comenta a validez dos resultados obtidos:

Lt6 - MAQUETA RELATIVISTA (construcción gráfica)



**Explicación de las Fichas**  
**Lt5 - MAQUETA RELATIVISTA (descripción)**  
**Lt6 - MAQUETA RELATIVISTA (construcción gráfica)**



**Actividad de ESTRUCTURACIÓN**

Una vez que la actividad Lt3 nos permitió usar las gráficas de la ficha Lt4 para obtener valores numéricos de los efectos relativistas en tres casos particulares, aparece la necesidad de ofrecer la posibilidad de realizar medidas similares para casos generales, adaptados a cualquier situación y velocidad relativa.

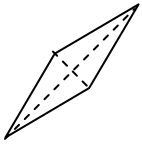
Para ello, hemos diseñado una “maqueta relativista” fácil de realizar (ficha Lt5) y simple de usar (ficha Lt6).

El material necesario (tijeras, hilo y unas pajitas de beber refrescos) permite que cada alumnos pueda confeccionar su propia maqueta y usarla para hacer medidas y predicciones relativistas, especialmente cuando posteriormente sepa cómo interpretarlas en conexión con hechos de la vida real.

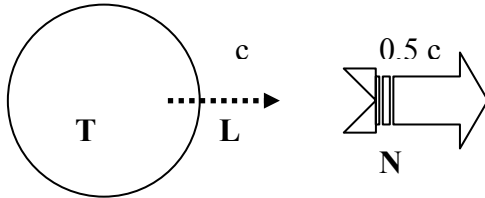
La maqueta realizada tiene unos límites de aplicabilidad entre valores de la velocidad relativa desde los 70.000 km/s hasta los 270.000 km/s. Valores más pequeños o mayores requieren otro tratamiento más riguroso, que será visto en detalle posteriormente.

Con esta maqueta se puede, dentro de los límites señalados:

- Hallar el valor numérico de un efecto relativista a una velocidad dada
- Obtener el valor de la velocidad necesaria para que se produzca un efecto relativista de magnitud dada.



**La - PROBA DE RETENCIÓN: Conservación da velocidade da luz**

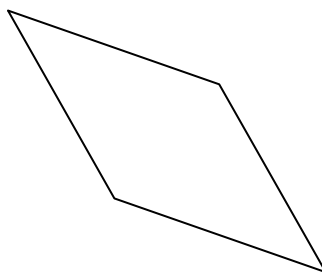
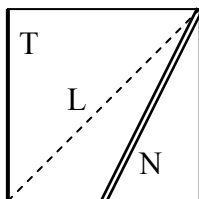


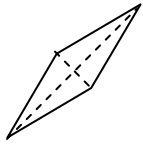
3-Unha nave espacial afástase da Terra cunha velocidade de  $0,5 c$  ( $c =$  velocidade da luz). Dende a Terra mándase un sinal luminoso e a tripulación mide a velocidade do sinal, obtendo o valor:

- a.  $0,5 c$
- b.  $c$
- c.  $1,5 c$

Explica a escolla que fixeches:

Serías capaz de completar a seguinte construción gráfica e utilizala para explicar a túa resposta?

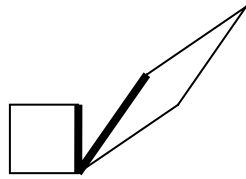




**L1a - PROBA DE RETENCIÓN: Dilatación temporal**

a) Explica o fenómeno relativista da dilatación temporal e as súas consecuencias de carácter práctico ou experimental.

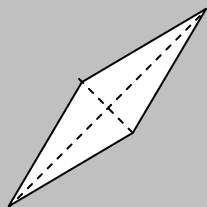
b) Utiliza a seguinte figura para explicar o anterior dun xeito gráfico.



## Explicación de las Fichas

**La** - PRUEBA DE RETENCIÓN: Conservación de la velocidad de la luz

**L1a** - PRUEBA DE RETENCIÓN: Dilatación temporal



## Actividad de EVALUACIÓN

Se presentan dos actividades pertenecientes a la batería de pruebas de retención.

La primera (La, conservación de la velocidad de la luz) intenta comprobar hasta qué punto los alumnos son capaces de aplicar el diagrama espacio-tiempo relativista para resolver una situación problemática novedosa (y en este sentido tiene características de una actividad de aplicación).

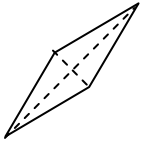
Constituye una evaluación de la persistencia de la siguiente idea previa: que las velocidades se suman o restan al pasar de un sistema de referencia a otro.

Muchos alumnos consideran como principio fundamental de la teoría de la relatividad el de que “nada puede ir más veloz que la velocidad de la luz ( o alcanzarla, en otra versión análoga)”, añadiendo a veces la coletilla “de momento”. Por eso, para ellos, en esta situación, queda claro que la respuesta no puede ser  $1,5 c$ .

Pero también está igualmente claro que no puede ser “ $c$ ”, puesto que la nave se mueve respecto de la Tierra, Y como la respuesta que sería correcta para ellos ( $0,5 c$ ) no viola el principio de “velocidad límite” que aplican (porque ya lo conocían anteriormente “vox populi”), no tienen problema en señalar esa respuesta como correcta.

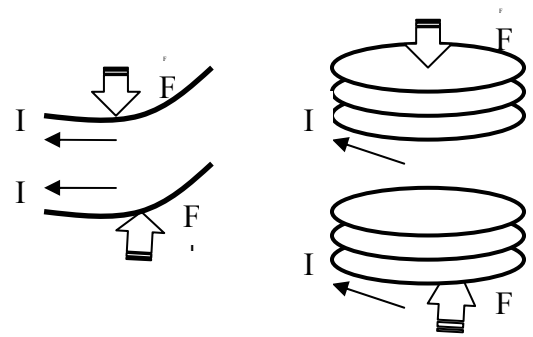
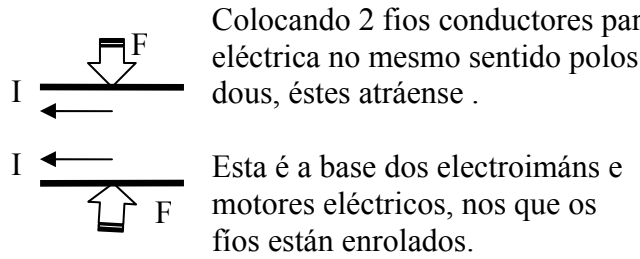
Sin embargo, cuando aplican correctamente la transformación en el gráfico que se adjunta no tienen problemas en indicar la respuesta correcta (caso b: velocidad =  $c$ ).

La ficha L1a intenta comprobar hasta qué punto de entendió la justificación de la dilatación temporal y sus consecuencias.



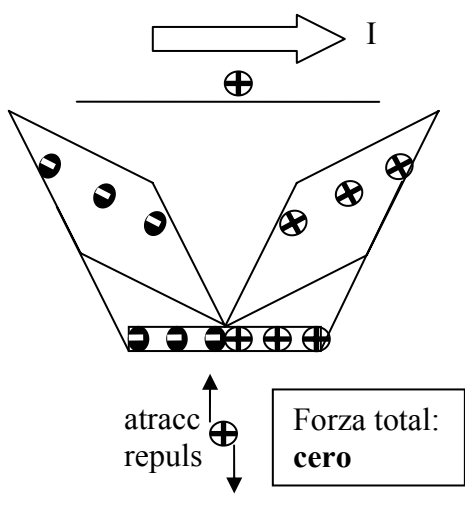
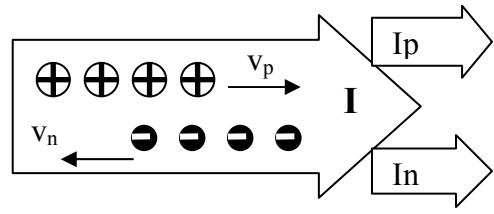
**L2i - FORZA DE LORENTZ: magnetismo a partir da Relatividade**

Dende a época dos antigos ( chineses e gregos) coñécese a existencia do magnetismo. Non foi ata o século XIX que Ampère descubriu unha extraña relación entre magnetismo e corrente eléctrica:



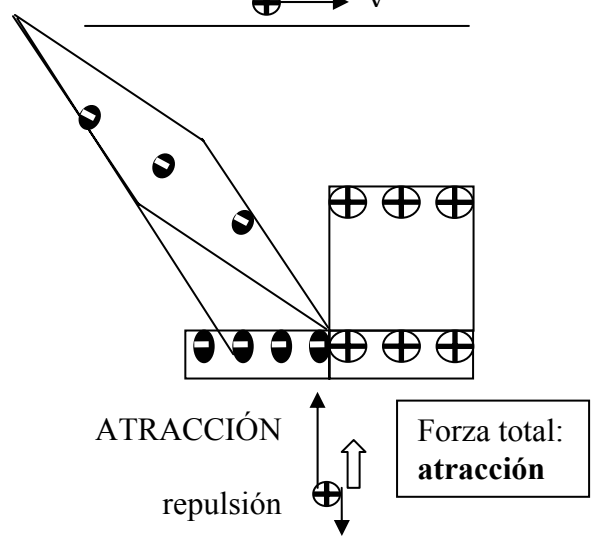
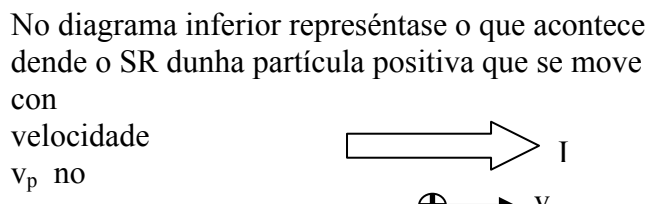
a) A qué cres que se pode deber esta forza de atracción?  
 Explicao con detalle nun folio aparte( fai algún debuxo se o ves posible).

Imos investigar o que acontece entre unha carga eléctrica e un fio con corrente dende o punto de vista da Teoría da Relatividade. Para elo, supoñemos que no fio coexisten dúas correntes: a das cargas positivas (velocidade  $v_p$ ) e a das negativas (velocidade  $v_n$ , contraria a  $v_p$ ). Por ser cargas de distinto signo, as intensidades correspondentes súmanse:  $I = I_p + I_n$ .

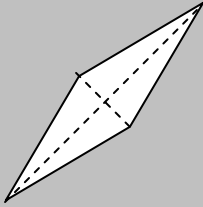


No seguinte diagrama e/t represéntans e os SR das cargas + e -. Pódese ver que a figura é simétrica, polo que hai a mesma densidade de cargas + e -. O efecto global sobre unha partícula cargada en repouso será **nulo**.

sentido da intensidade I do conductor.  
 O SR das cargas positivas do mesmo está en repouso coa partícula, polo que non se deforma.  
 O SR das cargas negativas, pola contra, desprázase con maior velocidade, sufrindo a correspondente contracción espacial. Como o fio conductor está cheo de cagrás, dende a carga + en movemento obsérvanse agora máis cargas - que +. O efecto resultante é que a carga é **atraída** polo conductor.  
 Este efecto denomínanse “Forza de Lorentz”, e é unha das leis fundamentais do electromagnetismo.



Explicación de la Ficha  
**L2i - FUERZA DE LORENTZ:** magnetismo a partir de la  
Relatividad

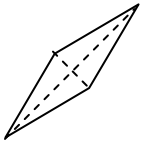


Actividad de APLICACIÓN

En esta ficha se trata de aplicar la contracción espacial (una de las consecuencias de la transformación de Lorentz) para demostrar visualmente que una partícula cargada en movimiento paralelamente a una corriente eléctrica debe sufrir una fuerza perpendicular a su trayectoria. Se puede ver en las figuras que el análisis realizado se basa en la modelización de la corriente eléctrica mediante una figura simétrica: Se supone la existencia de dos tipos de cargas opuestas en equilibrio en el interior del conductor (separadas a intervalos regulares) y moviéndose a la misma velocidad en sentidos contrarios, por lo que una partícula en reposo no sentirá ningún efecto. Pero al moverse la partícula con la misma velocidad que una de las dos corrientes, se coloca en su SRI y se rompe la simetría anterior: Ahora, una de las corrientes está en reposo y la otra en movimiento con respecto a la carga. La contracción espacial hace que las distancias entre las partículas cargadas disminuyan, aumentando así su densidad de carga. Por lo tanto, para la partícula externa el equilibrio entre las cargas opuestas del interior del conductor se rompe y aparece una fuerza neta perpendicular al mismo. Esta fuerza es conocida como “Fuerza de Lorentz”, pero se presenta habitualmente en Física asociada a una partícula moviéndose perpendicularmente a un campo magnético. Dado que una corriente eléctrica lineal genera un campo magnético perpendicular, y la fuerza de Lorentz se calcula mediante el producto vectorial  $q\mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ , el resultado es idéntico al que aquí se presenta.

En un tubo fluorescente se da una situación similar a la presentada, con iones de cargas opuestas moviéndose en sentidos contrarios. Y es sabido que la corriente eléctrica en un conductor sólido se puede representar tanto por cargas negativas (electrones) moviéndose en un sentido como por cargas positivas (huecos) haciéndolo en sentido opuesto.

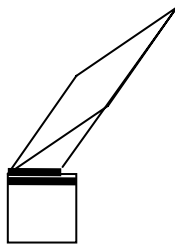
La situación modelizada sería intermedia a estos dos extremos, con dos corrientes iguales que sumadas darían la intensidad total.



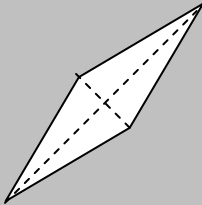
**L2a - PROBA DE RETENCIÓN: Contracción espacial**

a) Explica o fenómeno da contracción espacial e qué consecuencias ten.

b) Utiliza a seguinte figura para explicar o anterior dun xeito gráfico.



**Explicación de la Ficha**  
**L2a - PROBA DE RETENCIÓN: Contracción espacial**



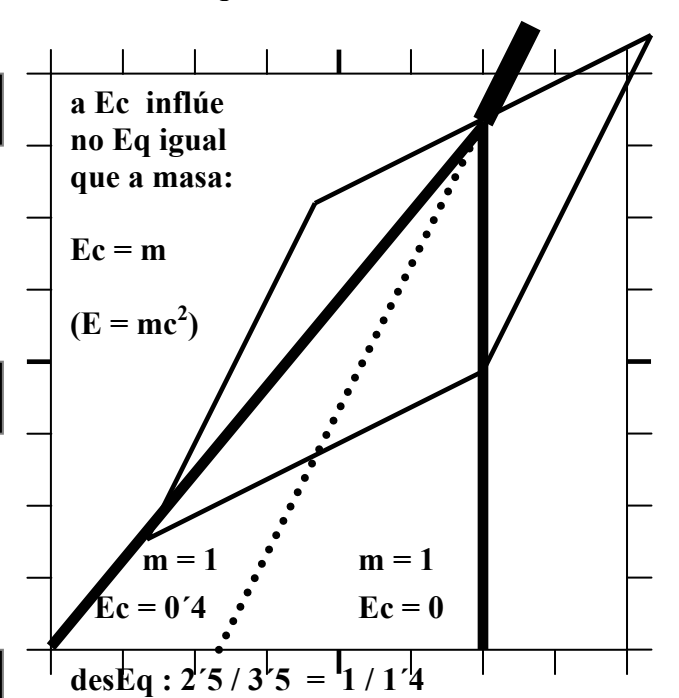
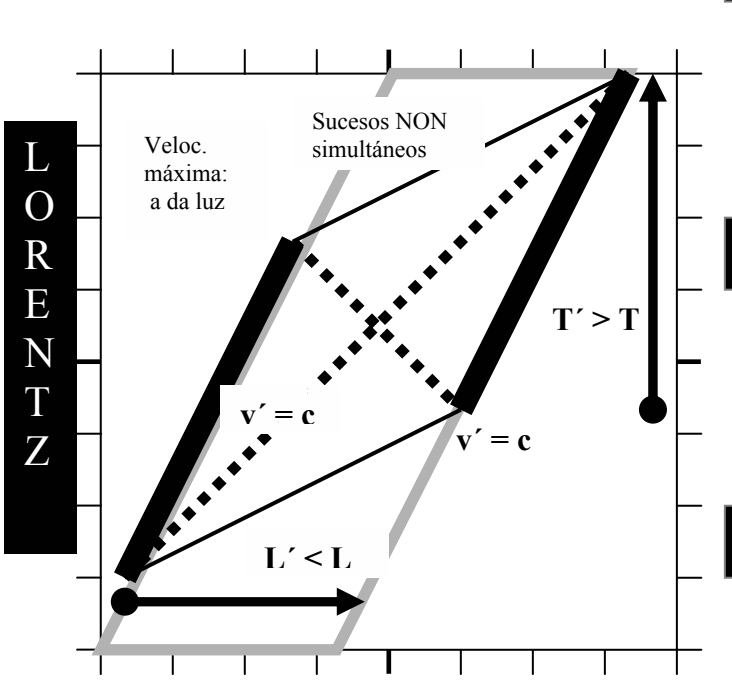
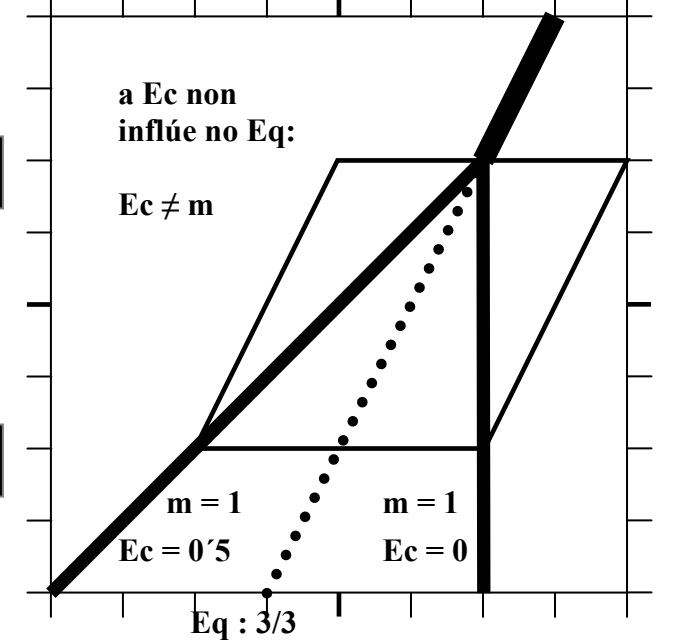
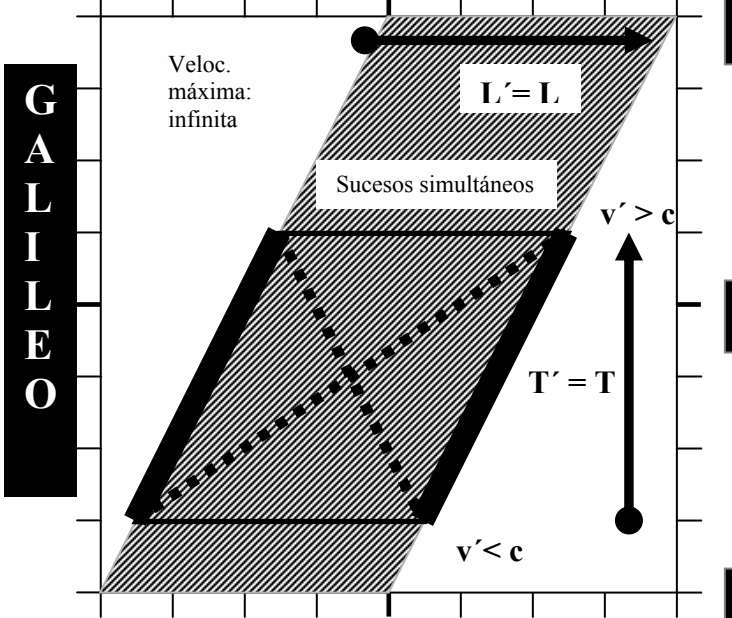
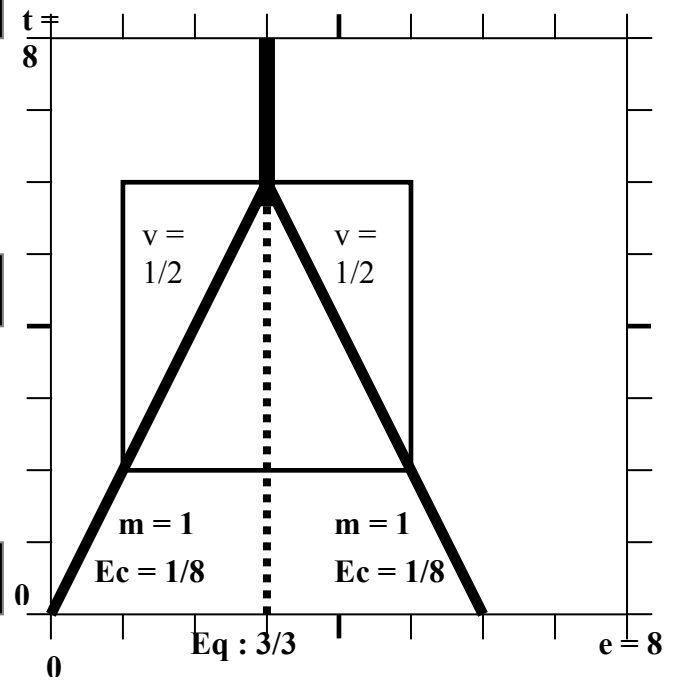
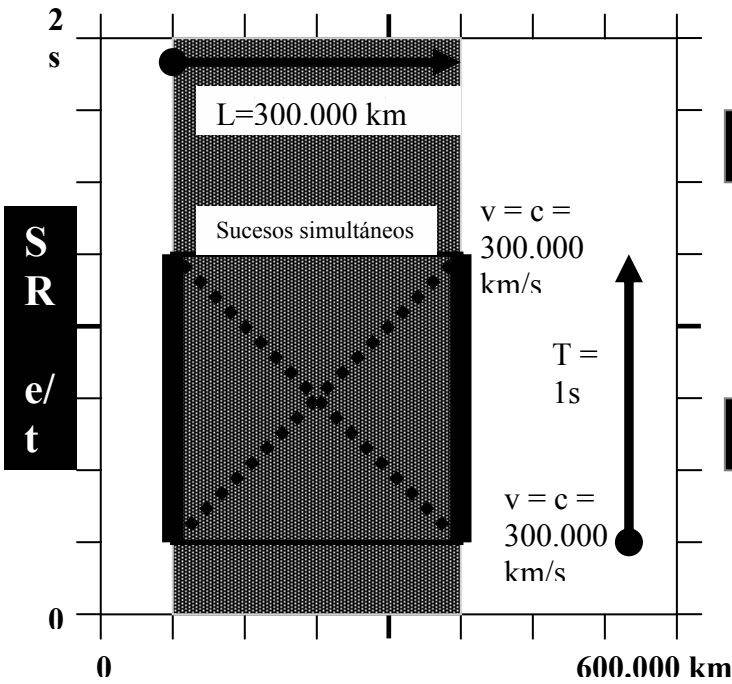
**Actividad de EVALUACIÓN**

Esta ficha es equivalente a la ficha Lia presentada anteriormente. Tanto en esta como en aquella se pretende comprobar hasta qué punto el alumnado entendió la justificación de los fenómenos físicos asociados con la transformación de Lorentz (en este caso la contracción espacial y en aquél la dilatación temporal) y sus consecuencias.

Aquí es donde se podría esperar que el alumno hablase de la atracción magnética o de la Ley de Lorentz como una consecuencia de la contracción espacial. También podrá entender la razón por la que se da el nombre de Lorentz a este efecto electromagnético. Aunque este aspecto será tratado con mayor profundidad en la siguiente Unidad (Einstein), se introduce aquí de la forma más simple posible (ver actividad L2i) para que el alumno entienda que la contracción espacial no es una mera ilusión óptica (“parece que las reglas se acortan cuando van muy rápido, pero un metro es siempre un metro”, manifiestan algunos), sino que es tan real que justifica un fenómeno de tanta relevancia tecnológica como el magnetismo.

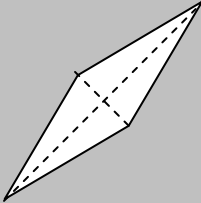
L3t1 – gráficas : Efectos Relativistas

Equivalencia entre masa e enerxía



## Explicación de la Ficha

L3t1 – gráficas :  
**Efectos Relativistas -- Equivalencia entre masa y energía**



### Actividad de REESTRUCTURACIÓN

En esta actividad se acude de nuevo a los diagramas espacio-temporales que pueden ser visualizados con el visor presentado en A1i (Aristóteles), para analizar las consecuencias de carácter físico de la transformación de Lorentz (conviene explicar que no fue el propio Lorentz quien llevó la transformación por él deducida hasta sus últimas consecuencias, sino que precisamente aquí radicó la genialidad de Albert Einstein).

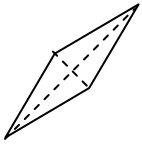
Las seis gráficas se ordenan de la siguiente manera: La primera fila corresponde a la situación en reposo, la segunda a la transformación de Galileo (sentido común) y la tercera a la transformación de Lorentz (revolución conceptual).

La columna izquierda corresponde a los fenómenos más “evidentes” (dilatación temporal, contracción espacial, pérdida de la simultaneidad y velocidad límite), y se reserva la columna de la derecha para analizar la equivalencia entre masa y energía, concepto algo más complejo pero de gran importancia.

Las figuras pueden ser usadas para realizar medidas sobre las mismas (con la escala graduada de sus bordes), de forma que se pueden “medir” los efectos y relacionarlos con la velocidad relativa  $v = c/2 = 150.000 \text{ km/s}$  (ya explicamos antes (actividades Lt3 y Lt4) que se haría amplio uso de este caso por presentar resultados visibles y medibles sin excesiva deformación en las figuras).

En la columna derecha se presentan los resultados ya calculados, aplicando la fórmula  $E_c = m v^2/2$ , con  $m = 1$  y  $v$  en unidades naturales ( $c = 1$ ). La razón es que permite ver que al sumar las masas y sus energías cinéticas obtenemos unos resultados (1 frente a 1'4) que nos permiten explicar el desequilibrio introducido en la figura (con brazos de 2'5 unidades y 3'5, respectivamente).

Podemos comprobar en esta figura que se cumple la condición de equilibrio que vimos en la actividad A2p (equilibrio de masas, Aristóteles): La proporción entre las masas debe ser inversa a la existente entre los brazos:  $2'5 / 3'5 = 1 / 1'4$ .



**L3t2 - VELOCIDADES SUPRALUMÍNICAS**

Supón que tes un punteiro láser na man , e que o xiras de forma que o punto vermello se mova a unha  $v = 1 \text{ m/s}$  por unha parede situada a 1 m de distancia.

a) A qué velocidade se moverá o punto se dirixes o punteiro a unha parede situada a 10m de distancia e o xiras da mesma forma?.

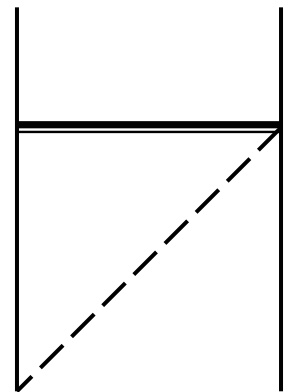
E se a parede está a 1 Km de distancia?

b) A Lúa está a 380.000 Km da Terra . A qué velocidade se moverá o punteiro vermello pola superficie da Lúa ?.

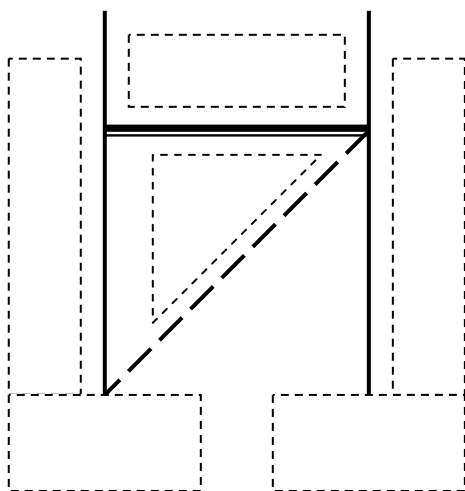
Pensas que iso está dacordo coa Teoría da Relatividade?

Por qué?

c) Imaxina que estás no vagón de cola dun tren moi longo . Nun momento dado accionas un punteiro láser dirixido á dereita, cara unha célula fotoeléctrica situada no vagón dianteiro do tren, de forma que ao recibir o impulso luminoso do láser encéndense as luces de forma simultánea en todos os vagóns do tren. Identifica o sucedido no diagrama e/t da dereita:



Completa na figura inferior os cadros de puntos coas palabras:

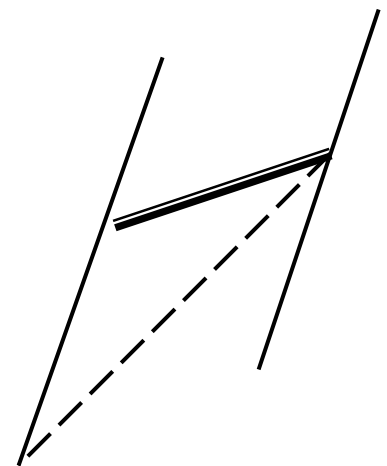


- Vagón dianteiro
- Vagón de cola
- Célula fotoeléctrica
- Punteiro láser
- Raio láser
- Iluminación súbita.

d) Agora representamos o mesmo suceso tendo en conta que o tren se move cara a dereita:

Identifica novamente cada elemento do diagrama.

e) Qué velocidade leva agora o raio de luz láser?



f) Observa que agora a iluminación dos vagóns , xa non se produce de forma simultánea , senón que a iluminación avanza da cola cara adiante.

Compara a velocidade de avance da iluminación coa da luz.

Cal é maior?

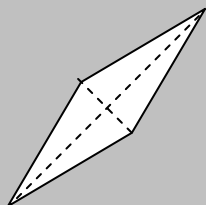
Qué opinas deste feito?

g) Observa o momento en que comeza a iluminarse o vagón de cola e o momento en que o pulso láser chega á célula fotoeléctrica.

Cal é anterior?

Qué opinas disto?

Explicación de la Ficha  
L3t2 - VELOCIDADES SUPRALUMÍNICAS



Actividad de APLICACIÓN

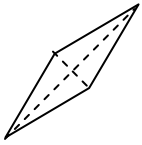
En esta actividad se propone al análisis de varias situaciones con un denominador común: En ellas aparecen velocidades superiores a la de la velocidad de la luz en el vacío (300.000 km/s).

La razón fundamental de esta actividad es la de salir al paso de una interpretación simplista pero muy común del límite de velocidades en la teoría de la relatividad según la cual no puede haber velocidades mayores que la de la luz. A veces, esta manifestación se acompaña por un “de momento”, indicando que se considera el resultado de una mera limitación técnica, como en su día fue considerada la barrera del sonido hasta que aparecieron los motores de reacción.

Por un lado, este enfoque peca de demasiado amplio, pues se refiere a cualquier tipo de velocidad, mientras que el límite relativista sólo se puede aplicar a las velocidades relativas entre sistemas de referencia, o lo que es equivalente, a velocidades relativas de partículas materiales, pues ya se vio en la definición de sistema de referencia que éste debía poder estar asociado con algún objeto material.

En la física de partículas es muy habitual encontrarse con velocidades superiores a la de la luz, que se denominan “velocidades de fase”, y están en la raíz de muchos anuncios de superación de la teoría de la relatividad. Estas velocidades están contenidas en la propia teoría y no suponen una violación de la mismas, pues no se aplican al movimiento del sistema de referencia de ninguna partícula.

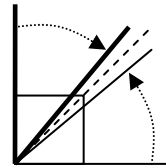
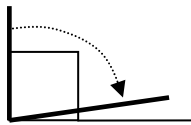
Por otro lado, se rebaja mucho el rango de esta limitación al suponer que el avance continuo de la ciencia vaya a poder permitir en su día superar este límite “técnico”. Dado que la limitación forma parte de la misma naturaleza del espacio-tiempo, se puede igualar en su validez con el límite equivalente de la transformación de Galileo: la imposibilidad de viajar al pasado, que es algo de naturaleza completamente diferente a viajar a mayor velocidad y por lo tanto no se espera que un simple avance técnico vaya a hacer posible.



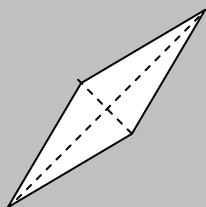
**L3a - PROBA DE RETENCIÓN: Límite de velocidade**

a) Explica por qué a teoría da relatividade predice a existencia dunha velocidade límite, e cal é esta.

b) Utiliza as seguintes figuras para explicar o anterior dun xeito gráfico.



Explicación de la Ficha  
L3a - PRUEBA DE RETENCIÓN: Límite de velocidad



Actividad de EVALUACIÓN

Esta actividad viene a incidir en los aspectos implícitos de la actividad anterior (L3t2), de una forma diferente pero complementaria:

Preguntando al alumno directamente por sus opiniones acerca del límite de velocidades de la teoría de la relatividad.

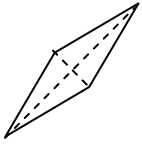
Se añaden un par de gráficos para situar al alumno ante la equivalencia gráfica entre los límites clásico y relativista, ayudándole a relacionar la categoría ontológica del límite clásico (Imposibilidad de viajar al pasado) con la del límite relativista (Imposibilidad de rebasar la velocidad de la luz).

Tanto en un caso como en el otro, la imposibilidad se justifica gráficamente con el mismo razonamiento:

Dado que la superficie espacio-tiempo de la figura transformada no puede variar, siempre tendrá que haber esa misma cantidad de superficie espacio-tiempo entre la línea de la partícula y la del límite.

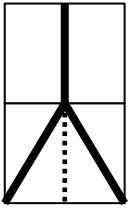
Para el caso clásico, este límite es la línea horizontal, que corresponde con una velocidad infinita y al mismo tiempo separa el avance normal “hacia el futuro” de todas las cosas con lo que sería un viaje al pasado, mientras que para el caso relativista el límite es la línea diagonal, que corresponde con la velocidad de la luz pero que es tan imposible de superar como lo era en el caso clásico el viajar al pasado.

En este caso, la actividad tendría características de aplicación de los conceptos introducidos en la actividad Li (caso 2c) y L3T1 (velocidad límite).

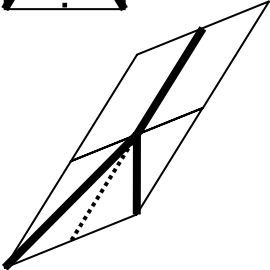


**L4t - Ficha sobre a Equivalencia entre Masa e Enerxía**

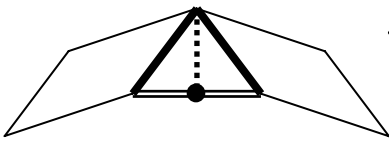
Completa as frases relativas a cada gráfico e redacta a conclusión final



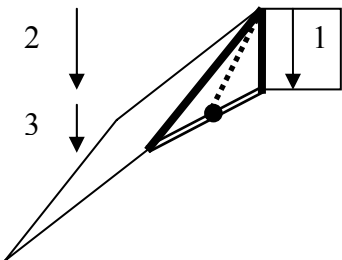
A figura representa un \_\_\_\_\_ no SR do \_\_\_\_\_  
 A liña de puntos indica o \_\_\_\_\_  
 As masas son \_\_\_\_\_, porque o cdm está \_\_\_\_\_



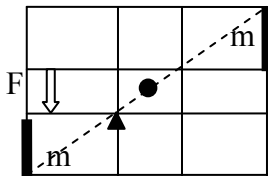
O mesmo \_\_\_\_\_, no SR da \_\_\_\_\_ (transf. de \_\_\_\_\_)  
 A masa da esquerda ten \_\_\_\_\_ velocidade que a da dereita.  
 O cdm está \_\_\_\_\_ da liña base, mais esta está \_\_\_\_\_



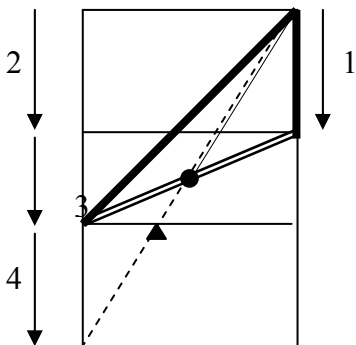
Os dous rombos laterais son os \_\_\_\_\_  
 O punto negro está no \_\_\_\_\_ da liña dobre,  
 porque \_\_\_\_\_



A mesma figura de antes, dende o SR da \_\_\_\_\_  
 A frecha 1 indica o valor da \_\_\_\_\_  
 A frecha 2 indica o valor da \_\_\_\_\_  
 A frecha 3 indica o valor da \_\_\_\_\_  
 As frechas 1 e 2 son \_\_\_\_\_.  
 O punto negro está no \_\_\_\_\_ da liña dobre.  
 A liña de puntos indica o \_\_\_\_\_



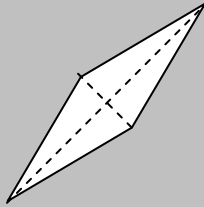
Construcción gráfica do equilibrio entre dúas masas iguais ( $m$ ) cunha forza adicional descompensadora ( $F$ ) a favor da masa \_\_\_\_\_.  
 O punto negro está no \_\_\_\_\_ da figura  
 A liña de puntos pasa polo punto negro, porque \_\_\_\_\_  
 O triángulo negro indica a posición do \_\_\_\_\_



O punto negro está no \_\_\_\_\_ da liña dobre  
 Para que o punto negro poda estar tamén no centro da figura, a frecha 4 debe ser igual que \_\_\_\_\_.  
 A liña de puntos indicaba o \_\_\_\_\_, e agora é tamén a \_\_\_\_\_ do rectángulo maior.  
 A frecha \_\_\_\_\_ equivale á forza descompensadora  $F$  da figura anterior  
 A frecha 3 indicaba o valor da \_\_\_\_\_ na cuarta figura.

A serie de figuras demóstranos o seguinte en relación coa enerxía cinética:

**Explicación de la Ficha**  
**L4t - Ficha sobre la Equivalencia entre Masa y Energía**



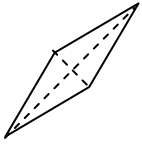
**Actividad de REESTRUCTURACIÓN**

En varias actividades anteriores se presentó la visualización de la equivalencia entre masa y energía en el caso particular de un choque inelástico entre dos partículas iguales:

- Li (Consecuencias de la Transformación de Lorentz, caso 2d),
- L3t1 (Gráficos relativistas para visor e-t, columna derecha),
- Lt (Sistema de Referencia Tierra-Luna, caso iii).

Se presenta ahora una nueva actividad de reestructuración especialmente diseñada para abordar este caso de forma gráfica en detalle, mediante una secuencia de 6 figuras:

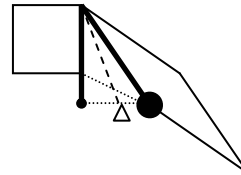
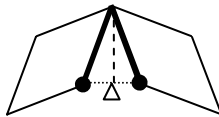
- 1- Choque inelástico de 2 masas iguales en el SR del cdm (situación simétrica, cdm en el centro de simetría)
- 2- Transformación de Galileo al SR de la partícula de la derecha (se rompe la simetría sin que afecte a la posición del cdm, que sigue estando en el medio de las 2 masas): la  $E_c$  no afecta al equilibrio entre masas (son magnitudes diferentes)
- 3- Situación inicial simétrica en el caso relativista.
- 4- Ruptura de la simetría al igual que en el caso clásico (figura 2): Lectura de la  $E_c$  directamente en la figura, como se hizo en Lp3.
- 5- Aplicación de los gráficos de equilibrio vistos en A2:  
Demostración visual de que el desplazamiento del cdm corresponde al efecto de una magnitud desequilibradora equivalente a una masa adicional (como sucede con las fuerzas en el campo gravitatorio terrestre, en que la equivalencia viene dada por el factor "g":  $F = mg$ )
- 6- Incorporación de la figura anterior (5) a la gráfica relativista (4):  
Demostración de que el factor desequilibrador corresponde con la  $E_c$ . Como consecuencia, la energía cinética es equivalente a la masa, siendo el factor de equivalencia la unidad:  $E = m$ . Esto es debido a que en las figuras usadas,  $c = 1$ . En general, la equivalencia entre masa y energía se expresa mediante  $E = m c^2$ .



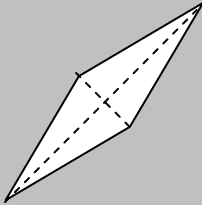
**L4a - PROBA DE RETENCIÓN: Equivalencia entre masa e enerxía.**

a) Explica a equivalencia entre masa e enerxía na teoría da relatividade.

b) Utiliza as seguintes figuras para explicar o anterior dun xeito gráfico.



Explicación de la Ficha  
**L4a - PRUEBA DE RETENCIÓN:** Equivalencia entre masa  
y energía.

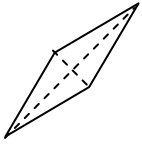


Actividad de EVALUACIÓN

La equivalencia entre masa y energía ha sido analizada en varias actividades de estructuración y reestructuración

- Li :Consecuencias de la Transformación de Lorentz, caso 2d,
- L3t1: Gráficos relativistas para visor e-t, columna derecha,
- Lt: Sistema de Referencia Tierra-Luna, caso iii.
- L4t: Ficha sobre equivalencia entre masa y energía

En esta nueva actividad se ofrece al alumno la posibilidad de explicar lo que aprendió sobre este concepto tan importante, así como de argumentar sus ideas con ayuda de unas gráficas espacio-tiempo similares a las que fueron usadas durante la instrucción indicada.



## La1 - TEST SOBRE RELATIVIDADE - I

(marca en cada caso a letra da resposta correcta, e explica as razóns para elo)

1.- Dispónse dun fío infinito e con corrente eléctrica  $I$ . Unha carga eléctrica  $+q$  próxima ao fío movéndose paralelamente a él e no mesmo sentido que a corrente :

- Será atraída
- Será repelida
- Non experimentará ningunha forza

2.- ¿Que nos di a ecuación  $E = mc^2$  ?

- A masa e a enerxía son dúas formas da mesma magnitude.
- A masa convírtese en enerxía cando viaxa á velocidade da luz.
- A masa convírtese en enerxía cando o corpo se despraza á velocidade da luz ó cadrado.

3.- ¿E certo que os obxectos se contraen a velocidades próximas á da luz?.

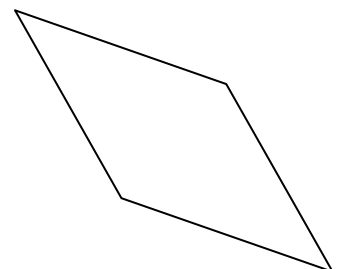
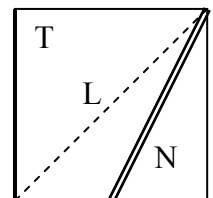
- Si, e afecta ás tres direccións do espacio.
- Si, contráense realmente sexa cal sexa o sistema de referencia.
- Non, o que se contrae é a medida do obxecto.

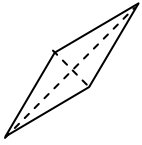
4.- A ecuación de Einstein  $E=mc^2$  implica que:

- Unha determinada masa  $m$  necesita unha enerxía  $E$  para poñerse en movemento.
- A enerxía  $E$  é a que ten unha masa  $m$  cando vai á velocidade da luz.
- $E$  é a enerxía equivalente a unha determinada masa.

5.- Observa na gráfica da dereita o seguinte: Unha nave espacial afástase da Terra cunha velocidade de  $0,5 c$  ( $c$  = velocidade da luz). Dende a Terra mándase un sinal luminoso e a tripulación mide a velocidade do sinal, obtendo o valor:

- $0,5 c$
- $1,5 c$
- $c$





## La2 - TEST SOBRE RELATIVIDADE – II

Selecciona a resposta correcta en cada caso. Explica por qué a seleccionas. Se consideras que ningunha é correcta, explica por qué.

6-Ana e Xan son irmáns xemelgos, e cumpren anos o Día das Letras Galegas (17 de Maio). O día que cumpren 18 anos, Ana vaise a facer unha viaxe espacial a gran velocidade (de xeito que o tempo dilátase 1%, ou 3 días nun ano), e regresa cando polo seu reloxo aínda faltan 3 días para cumprir un ano de viaxe.

- a) Xan cumple 19 anos ise día, mais Ana aínda debe agardar 3 días.
- b) Ana regresa o 17 de Maio, polo que cumple os anos igual que Xan.
- c) Aínda que o reloxo de Ana marque 362 días, ela cumple 19 anos, polo que para ela a viaxe tivo que durar en realidade un ano enteiro.

Razóns:

7-Temos 3 regras metálicas de 1m, unha das cales pasa a grande velocidade diante de nós, mentres a outra está en repouso.

- a) Pode ser que a regra móvil encolla algo pola velocidade que ten, mais 1m é 1m en calquera Sistema de Referencia.
- b) O que encolle, cando un SR se move, é a medida do espacio. Mais se as dúas regras metálicas son idénticas, medirán o mesmo aínda que unha delas se mova.
- c) A contracción espacial é real e afecta aos obxectos metálicos igual que ao espacio valeiro, polo que a regra móvil mide menos.

Razóns:

8-Os primeiros avións eran de hélice, e existía un límite para a velocidade que podían acadar: a barreira do son. Mais coa chegada dos avións a reacción, ese límite foi sobrepasado polo avance da técnica.

- a) Do mesmo xeito, a barreira da luz poderá se rebasada cando a técnica avance dabondo para elo.
- b) O feito que que ningún obxecto poida viaxar á velocidade da luz débese a unha lei física tan real como a que di que os obxectos caen para abaixo, e eso non hai avance técnico que o poida cambiar.
- c) O avance científico é imparabile, e por iso no futuro poderá haber naves máis veloces que a luz, ou incluso que viaxen ao pasado.

Razóns:

9-(Usando unidades nas que  $c=1$ ); Unha partícula que viaxa a  $v = 0,9$  emite un raio de luz cara diante.



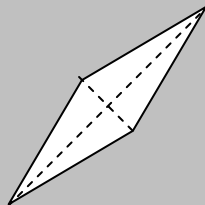
- a) O raio viaxa a  $c = 1$  para a partícula, e a  $c' = 1,9$  para o laboratorio
- b) O raio viaxa a  $c = 1$  para o laboratorio e a  $c' = 0,1$  para a partícula.
- c) O raio viaxa a  $c = 1$  para a partícula e a  $c' = 1$  para o laboratorio.

Razóns:

## Explicación de las Fichas

**La1** - TEST SOBRE RELATIVIDAD - I

**La2** - TEST SOBRE RELATIVIDAD – II



## Actividad de EVALUACIÓN

En estas actividades se presentan una serie de preguntas en las cuales el alumnado puede manifestar sus ideas sobre los siguientes conceptos relativistas:

### **La1:**

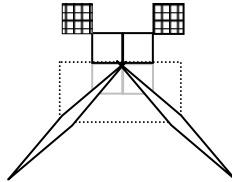
- 1: Fuerza de Lorentz (y contracción espacial)
- 2: Fórmula de Einstein (significado y equivalencia entre masa y energía)
- 3: Contracción espacial
- 4: Fórmula de Einstein (redunda en los mismos aspectos que la pregunta 2)
- 5: Invarianza de la velocidad de la luz (corresponde con el caso analizado en la actividad La)

### **La2:**

- 6: Dilatación temporal (paradoja de los gemelos). Sirve para comprobar hasta qué punto se aplican las nuevas ideas a la cuestión debatida al comienzo de la Unidad (actividad Ld), o por el contrario persisten en las ideas previas.
- 7: Contracción espacial
- 8: Límite de velocidades
- 9: Velocidad límite (complemento de la pregunta 8)

# Einstein

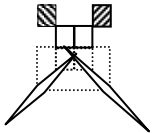
## Consecuencias de la Teoría de la Relatividad



Aunque el nombre de Albert Einstein podría estar vinculado con la mayor parte de las actividades de las Unidades anterior y posterior a esta (Lorentz y Hubble, respectivamente), puesto que se debe a su genio e intuición la derivación de las consecuencias físicas de la transformación de Lorentz, así como la superación e inclusión de la Relatividad Especial en la Teoría de la Relatividad General, en la que se basan todas las teorías posteriores que intentan explicar la estructura, origen y evolución del Universo (cosmología), se señalan bajo su nombre aquellas actividades en las que se puede confrontar al alumno con la realidad física de la Teoría de la Relatividad y su abrumadora influencia en muchos más aspectos de la vida cotidiana de lo que se piensa.

De esta forma, en esta Unidad se intentará extraer la Teoría de la Relatividad del limbo de las teorías extrañas, de la ciencia-ficción o del “todo vale” para asentarla como una teoría muy sólida y fructífera, capaz de explicar fenómenos y experiencias muy variados. Y procurando no perder nunca el hilo conductor gráfico-visual de toda la secuencia didáctica.

Por lo dicho anteriormente, en esta Unidad no se comienza, como en las restantes, con actividades de Exploración y/o Indagación, sino que se realizan directamente actividades de Aplicación y/o Estructuración, puesto que desde la perspectiva de la secuencia didáctica completa estaríamos ante una profundización en los contenidos de la Unidad anterior (Lorentz).



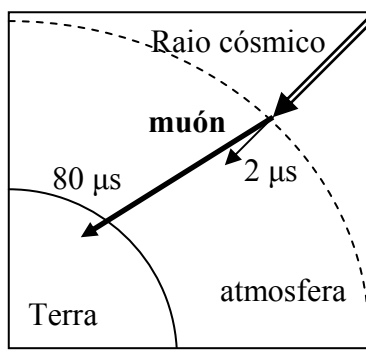
**E1i – MUÓNS, AVIÓNS E DILATACIÓN DO TEMPO**

O muón é unha partícula que se pode producir no laboratorio nunha desintegración nuclear. Unha vez creada tarda tan só  $2 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$ . en desintegrarse. Cando os raios cósmicos petan ca atmósfera exterior (a uns 20 km de altitude), tamén se producen muóns que saen lanzados cara a superficie da Terra a unha velocidade de 299.900 km/s . Que espacio percorren no seu tempo de vida?

Chegarán á superficie da Terra? Por que?

Neste mesmo instante están pasando a través do teu corpo máis de 1.000 muóns cada segundo, procedentes dos raios cósmicos. Cómo se explica?

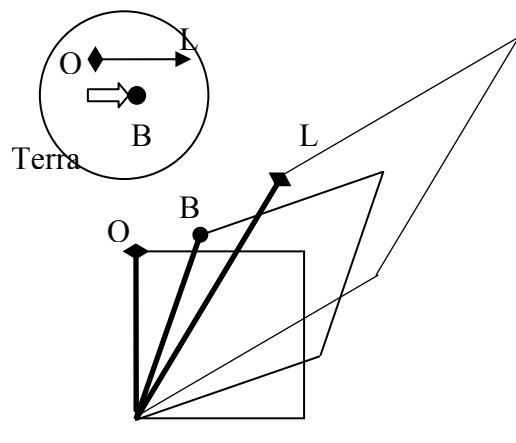
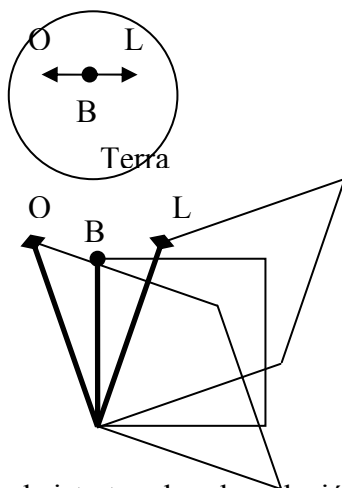
Para  $v = 299.900 \text{ km/s} = 0,9997 c$ , a dilatación temporal  $\gamma =$



Tendo en conta a dilatación , canto durará un muón da radiación cósmica que é observado dende a Terra?.  
 Qué espacio percorrerá nese tempo?

Pode iso axudar a explicar que os muóns cheguen á superficie terrestre?  
 Por qué?

No ano 1971, os científicos norteamericanos Hafele e Keating instaloron reloxo atómicos en dous avións que deron a volta á Terra en pouco máis dun día, un deles voando cara o Leste e o outro cara o Oeste.  
 Cando regresaron, o reloxo que voara cara o Leste tiña acumulado un retraso de 270 ns ( $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ ) respecto dun reloxo igual que permanecera na base. Comprobaron así que a dilatación temporal podía ser medida experimentalmente (pois o tempo, ao dilatarse, transcurriu máis lentamente).  
 Pola súa parte, o reloxo que voou cara o Oeste tiña adiantado 60 ns respecto do mesmo reloxo da base. Cal destas 2 figuras explica mellor o sucedido?  
 Por que?

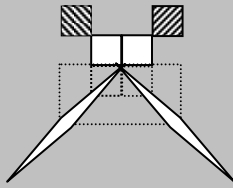


- B: Base
- O: Avión cara o Oeste
- L: Avión cara o Leste

Pode isto ter algunha relación co debate sobre o solpor permanente?

Cal?

## Explicación de la Ficha E1i – MUONES, AVIONES Y DILATACIÓN DEL TIEMPO



### Actividad de APLICACIÓN

Al comienzo de la Unidad anterior (Lorentz), se presentó una actividad de exploración (Ld: debate sobre la paradoja de los gemelos) relacionada con la dilatación temporal. A continuación, se abordó la misma como una consecuencia geométrica de la transformación de Lorentz en varias actividades: estructuración (Li-apartado 2.a, Lt5), reestructuración (Lt1-apartado ii, L3t1) y evaluación (L1a), sin explorar sus consecuencias físicas.

En una de las actividades de evaluación al final de la Unidad (La2-pregunta 6) se volvía a incidir en la paradoja de los gemelos, para comprobar la persistencia de ideas previas.

Es ahora cuando se analiza la validez de las consecuencias físicas implicadas en la paradoja de los gemelos, acudiendo a dos evidencias experimentales:

-La prolongación de la vida media de los muones procedentes de la alta atmósfera a grandes velocidades. Este experimento permite hacer ver que la dilatación temporal no es algo visual, sino que afecta al tiempo de vida media de partículas elementales.

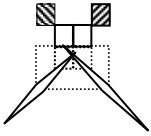
-La dilatación del tiempo medida en relojes a bordo de aviones circunvolando la Tierra. Mediante esta experiencia nos acercamos más a la situación de los gemelos, puesto que regresamos al punto de partida y comparamos el tiempo con el reloj que permaneció en el mismo.

Para velocidades pequeñas, el factor de dilatación es proporcional al cuadrado de la velocidad. El avión O está en reposo, porque anula la rotación terrestre, y el avión E se desplaza respecto de O al doble de dicha velocidad. Es por ello que el efecto es cuatro veces mayor.

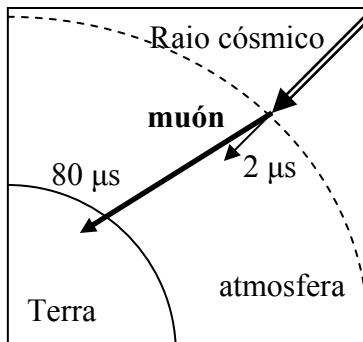
En aras del rigor, este experimento implica también efectos debidos a la variación de la gravedad con la altura que sólo se pueden explicar con la Relatividad General. Pero esta complicación se podría haber eliminado del experimento si el avión de la base hubiera estado en un globo aerostático durante la duración del vuelo de los aviones. De este modo, la gravedad habría sido la misma para los tres relojes.

Es por esta razón que presentamos una versión simplificada del experimento sin acudir a consideraciones gravitatorias.

Pero conviene tenerlo en cuenta por si la cuestión surge en algún momento.



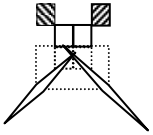
**E1a1 - PROBA DE RETENCIÓN: Muóns e dilatación do tempo**



Os muóns son partículas que teñen unha duración de 2 milisegundos cando se crean en repouso no laboratorio. Cando os raios cósmicos colisionan coa alta atmosfera a unha altura superior a 20 quilómetros, xeneran muóns que se moven case á velocidade da luz, polo que en 2 milisegundos percorreren como máximo 600m, pouco máis de medio quilómetro.

a) Como se explica que na superficie da Terra se poidan detectar moitos muóns procedentes da alta atmosfera?

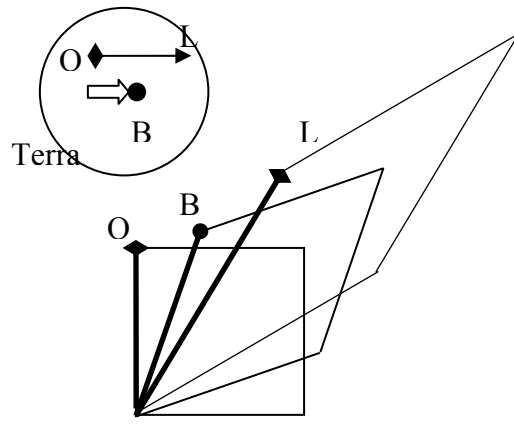
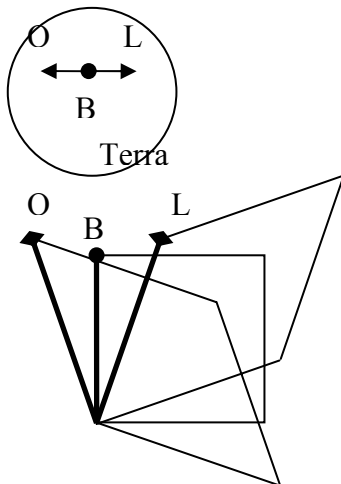
b) Debuxa unha gráfica coa que poidas explicar a túa resposta anterior.



**E1a2 - PROBA DE RETENCIÓN:** Experiencia de Hafele e Keating

Que acontece se 2 reloxos dan a volta á Terra nun día en avións que voan en direccións opostas (un cara o Leste e o outro cara o Oeste), deixando un igual a eles na base de partida)? Marcarán o mesmo tempo os tres, ou haberá variacións? Neste caso, que reloxo marcará máis tempo e cál menos, e por qué?

Cal das seguintes gráficas explica mellor o que acontece na situación anterior, e por qué?



B: Base  
O: Avión  
cara o Oeste  
L: Avión  
cara o Leste

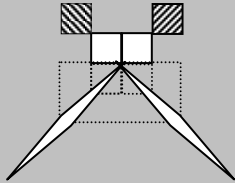
Ten algunha relación este experimento coa discusión sobre o solpor permanente?

En que sentido?

## Explicación de las Fichas

**E1a1** - P RUEBA DE RETENCIÓN: Muones y dilatación del tiempo

**E1a2** - P RUEBA DE RETENCIÓN: Experiencia de Hafele y Keating



### Actividad de EVALUACIÓN

Como se explicó en la actividad previa (E1i), durante toda la UD anterior (Lorentz) se trató el fenómeno de la dilatación temporal de una forma visual, sin cuestionar la realidad física de la misma. La razón es que, a pesar de ser una de las consecuencias más evidentes de la transformación de Lorentz, la conservación del tiempo es algo tan evidente y de características ontológicas tan profundas que un análisis superficial no asegura el cambio conceptual del mismo. Por ello, se dejó su tratamiento para la siguiente Unidad (Einstein) porque es de esperar que a estas alturas las mentes ya tengan una mayor disposición a abordar esta colisión de una imagen visual con una idea tan arraigada como es la noción del tiempo. La imagen visual puede comenzar ya a estar revestida de una autoridad suficiente para confrontarla con un concepto de carácter tan filosófico como el de “tiempo”.

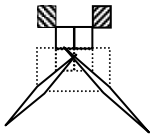
Y esto se hizo acudiendo, además, a la evidencia experimental:

-La prolongación de la vida media de los muones procedentes de la alta atmósfera a grandes velocidades, y la dilatación del tiempo medida en relojes a bordo de aviones circunvolando la Tierra.

En estas actividades se pretende comprobar si el alumnado consiguió realizar el salto conceptual, y pueden presentarse en momentos diferentes para medir la persistencia.

El experimento de Hafele-Keating fue realizado en unas condiciones que nos permiten abordar también las ideas expresadas en su momento en el debate sobre la puesta de Sol permanente (actividad Gd, UD Galileo), puesto que se realizó a bordo de dos aviones volando en direcciones opuestas de forma que tardaban un día en regresar. El avión que se dirigía al Oeste estaba en las condiciones del presentado en aquella actividad, y el experimento es claro: El SR de dicho avión está en reposo frente a los demás, por eso “envejece” más rápido (su unidad de tiempo es menor).

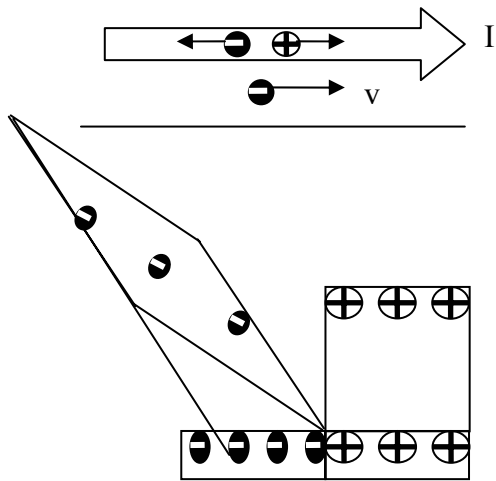
Es por esta razón que se hace la pregunta final en la ficha.



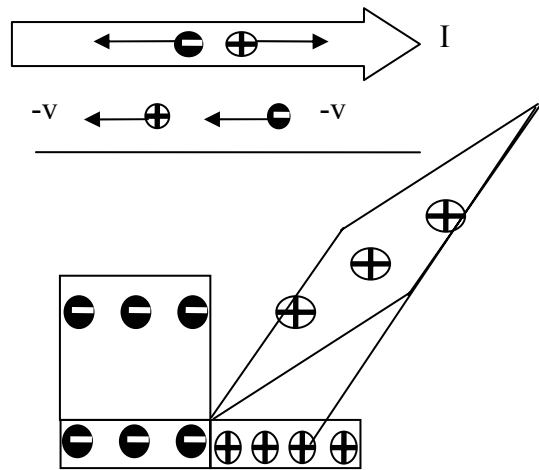
**E2t1 - Interacción entre correntes eléctricas: Lei de Ampere**

Nunha ficha anterior (L2i) , vimos como unha partícula positiva situada en repouso perto dun conductor con corrente eléctrica non sentía ningunha forza, mentres que ao moverse no sentido da intensidade da corrente recibía unha forza neta atractiva debida á contracción relativista do SR de referencia das cargas negativas, que se concentraban máis que as positivas.

Nas figuras seguintes representáanse outros 3 casos, nos que se invirte o signo da carga móvil, o sentido da velocidade ou as dúas á vez. Representa as 2 forzas que actúan sobre cada unha das tres cargas, indicando cal é maior e se o resultado é unha atracción ou unha repulsión.



Forza total:  $\ominus$

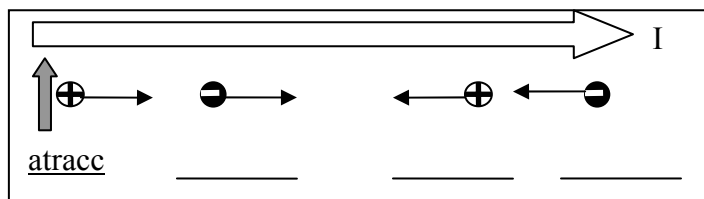


Forza total:  $\oplus \ominus$

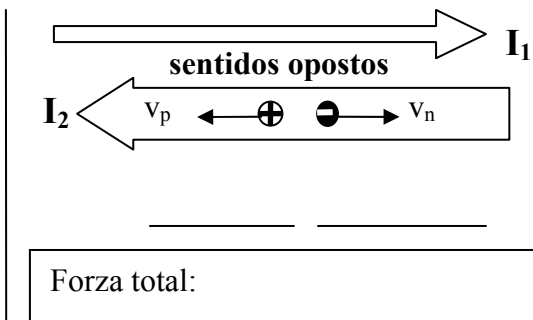
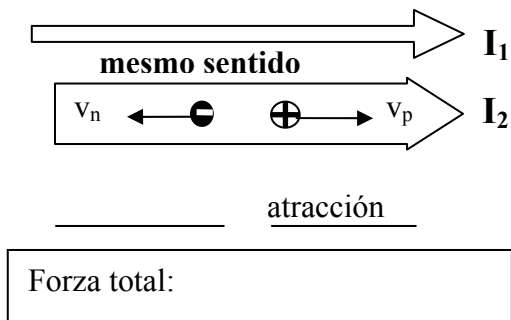
Forza total:  $\oplus$

Podemos resumir os anteriores resultados na seguinte figura:

A continuación, imos aplicar estes resultados ao caso de dúas correntes paralelas (**Lei de Ampere**).



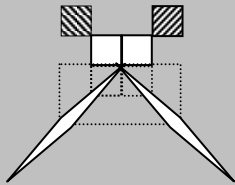
Analisaremos dous casos: Intensidades do mesmo sentido e de sentidos opostos.



Todos os fenómenos electromagnéticos explícanse mediante a teoría da Relatividade aplicada ás cargas en movemento.

## Explicación de la Ficha

**E2t1** - Interacción entre corrientes eléctricas: Ley de Ampère



### Actividad de ESTRUCTURACIÓN

En esta actividad se inicia el tratamiento visual de un aspecto importante de la teoría electromagnética: La explicación de la fuerza de atracción entre corrientes eléctricas (conocida como Ley de Ampère). Esta ley, por su parte, permitirá justificar posteriormente fenómenos de tanta importancia tecnológica como la atracción entre bobinas o corrientes circulares (magnetismo, electroimán, motores eléctricos).

Para llegar a la ley de Ampère de forma visual, continuamos el camino iniciado en la Unidad anterior (L2i, Fuerza de Lorentz). En aquella actividad se aplicaba el concepto de contracción espacial (consecuencia física visual de la transformación de Lorentz) para predecir que una partícula cargada moviéndose paralelamente a una corriente eléctrica sufriría una desviación, así como la dirección y sentido de la misma, coincidentes con lo que obtendríamos por un camino algebraico mucho más complejo aplicando campos magnéticos y productos vectoriales.

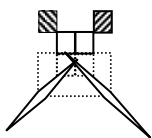
En esta actividad se repite aquel razonamiento visual, aplicándolo de forma sistemática a tres nuevos casos con los que se cubren dos situaciones:

- Intensidades iguales (fuerza de atracción)
- Intensidades contrarias. (fuerza de repulsión)

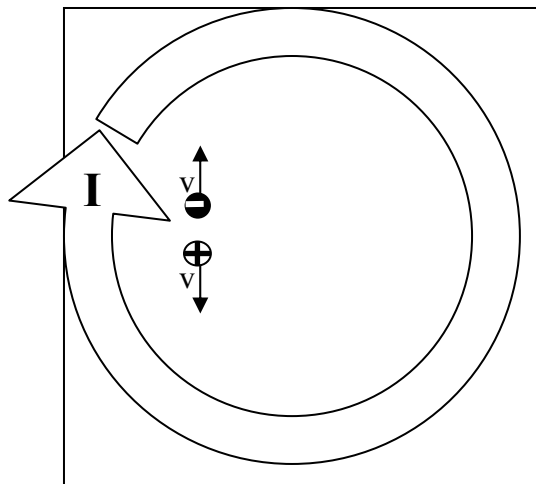
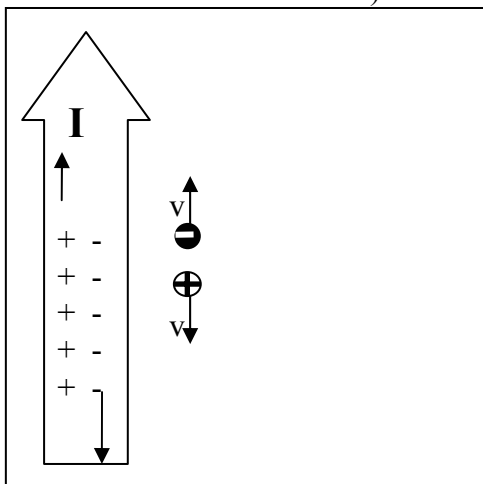
Es conveniente destacar el hecho de que los conductores por los que pasa la corriente son eléctricamente neutros en todo momento.

En la siguiente actividad veremos cómo se pueden justificar los fenómenos magnéticos mediante la ley de Ampère, lo que abre las puertas para presentar una de las pocas evidencias experimentales de la Teoría de la Relatividad que se pueden realizar sin simulación en un laboratorio de secundaria.

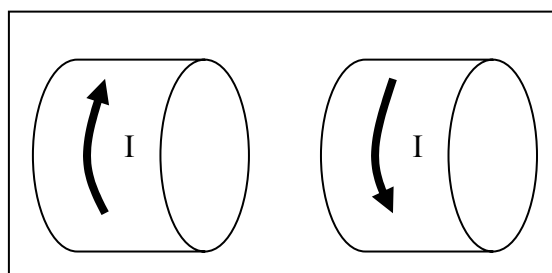
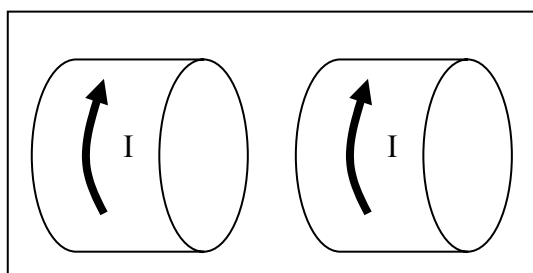
## E2t2 - Bobinas e cargas en movemento



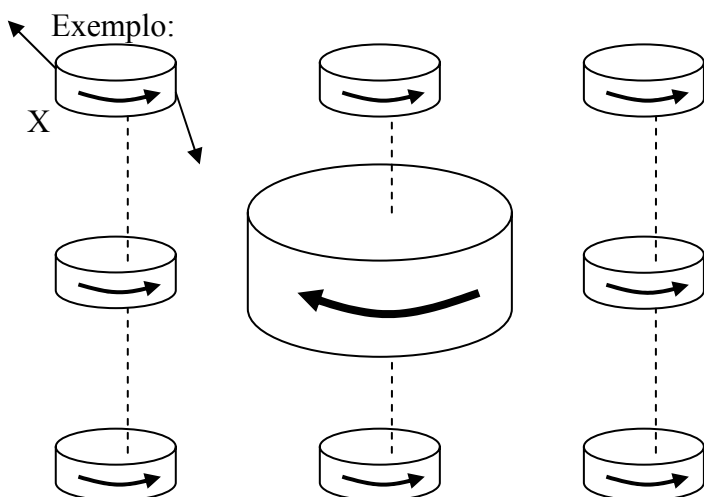
Debuxa mediante unha frecha sobre cada partícula a forza de Lorentz que actuará sobre a mesma debida á intensidade  $I$ . Indica mediante liñas de puntos a traxectoria que seguirá cada partícula (ten en conta como vai variando a forza de Lorentz ao moverse).



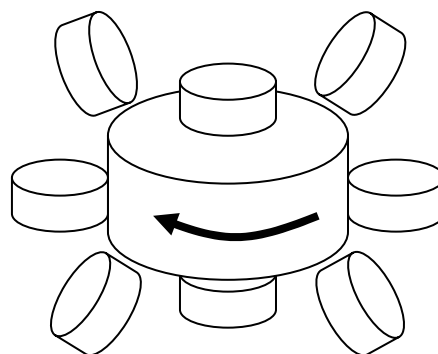
Debuxa mediante frechas as forzas que existirán entre as bobinas de cada figura, e di se serán de atracción ou de repulsión:



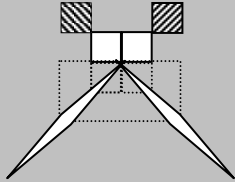
Na figura inferior vemos unha bobina grande rodeada de bobinas pequenas. Indica mediante dúas frechas nos extremos de cada bobina pequena a forza que actuará sobre a mesma, e di se o par de forzas produce atracción (A), repulsión (R) ou xiro (X).



Debuxa o sentido da intensidade en cada bobina pequena para que sexa atraída pola grande, na posición en que está.



Explicación de la Ficha  
E2t2 - Bobinas y cargas en movimiento



Actividad de REESTRUCTURACIÓN

Esta actividad continúa el camino visual iniciado en L2i (Fuerza de Lorentz) y seguido en E2t1 (Ley de Ampère).

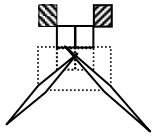
Vamos a aplicar la ley de Ampère de forma cualitativa sabiendo que se puede explicar mediante la contracción espacial, algo que conviene recordar cada cierto tiempo para no distanciarnos en exceso de la Teoría de la Relatividad en la única ocasión en que podremos explicar con la misma una experiencia de laboratorio.

Daremos los siguientes pasos en este camino hacia el experimento:

- Síntesis de la ley de Ampère mediante aplicación de la fuerza de Lorentz a dos partículas de cargas y velocidades opuestas (con lo que contribuyen por igual a la intensidad total). La figura permite ser explicada directamente aplicando la contracción espacial.
- Aplicación de la misma idea anterior al caso de una corriente circular (modelización de una bobina a partir de una de sus espiras).
- Fuerza neta entre dos bobinas con intensidades iguales o contrarias (estamos directamente ante dos modelos de electroimán, explicando la fuerza magnética sin tener que hablar de polos Norte o Sur).
- Colocación de pequeñas bobinas de prueba alrededor de un electroimán central mayor, para establecer la fuerza neta que recibe cada una en función de su situación en el espacio (concepto de brújula)
- Modelización del campo magnético colocando pequeñas bobinas alrededor del “imán” central en las posiciones de equilibrio resultantes del ejemplo anterior.

La figura resultante nos permitirá explicar las líneas de campo que se obtienen al colocar limaduras de hierro alrededor de un imán, sin acudir a otro referente que la Teoría de la Relatividad.

## Ep1 - PRÁCTICA : Electromagnetismo e Relatividade



### MATERIAIS:

2 Bobinas didácticas, -Núcleo de Ferro, -Compás magnético, -Parafuso, - Espira didáctica, -Batería de 12V c.c, -Cables conductores, -Pila de 4,5 V

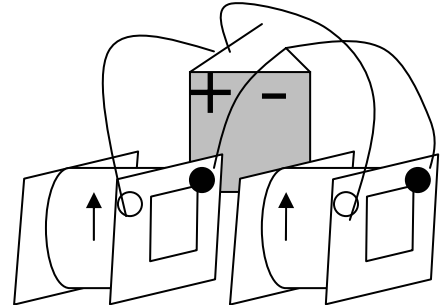
### PROCEDEMENTO:

1-Conecta 2 bobinas a unha pila de 4,5 V do seguinte xeito (de forma que a corrente circule no mesmo sentido polas dúas bobinas), cun núcleo de ferro no medio.

Comproba a forza de atracción existente.

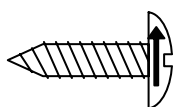
Invirte despois o sentido da corrente nunha delas (*ten coidado non toques cos dedos no cobre dos cables, pois as bobinas pódense dar un calambrazo*

*desdgradable!*), e observa que a atracción diminúe, chegando a percibirse unha repulsión (se non o observas, pide ao profesor que conecte as bobinas a un xenerador de 12 V).

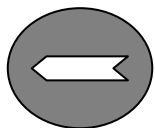
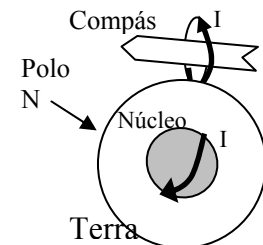


2-Para entender o sucedido, podemos considerar que cada átomo de Ferro é unha pequena bobina (pois ten un electrón xirando continuamente), e que ao pasar a corrente pola bobina cada átomo alinéase coa bobina exterior, producindo entre todos un efecto maior (se en lugar de ferro fose aceiro, os átomos permanecerían alineados aínda que desconectásemos as bobinas, e chamaríamolle “imán”).

Se permitimos que un pequeno imán xire libremente, sinalará sempre para a dirección Norte, e chamámoslle “compás”. A razón está en que no interior da Terra hai un núcleo metálico que xira producindo correntes no plano ecuatorial.



Comproba que o compás apunta sempre na mesma dirección, e localiza cal dos seus extremos sinala hacia o Norte.



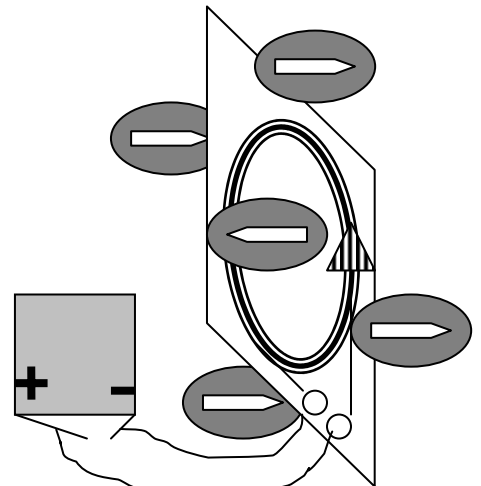
Podemos representar un compás mediante unha frecha que apunta do mesmo xeito que un parafuso que se enroscase no senso de xiro das correntes circulares que contén o imán do compás.

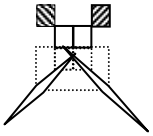
3-Colle agora a espira circular grande, e conéctaa coa pila de 4,5 V.. Achégaa ao compás, e comproba que este xira .

Coloca o compás dentro da bobina, e verifica que a orientación da punta que mira ao Norte coincide co dito anteriormente: se xiramos un parafuso no senso de xiro da corrente (que vai de + a -) da bobina, avanzaría no senso en que apunta o polo N do compás.

Observa o que acontece ao ir desprazando o compás cara afora da espira, e xirando ao redor da mesma

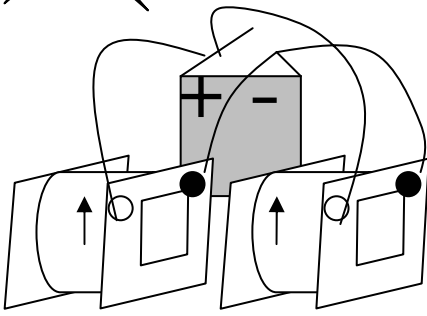
Completa as figuras da ficha de traballo e responde ás cuestións da mesma. Entrégaa ao profesor antes de marchar.





**Ep2 - FICHA da Práctica : Electromagnetismo e Relatividade**

1-Describe o que observas cando conectas as bobinas dacordo á figura.

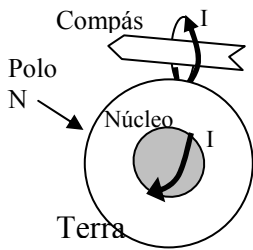


A que será debido?

Que acontece cando invertimos o sentido da intensidade nunha das bobinas?

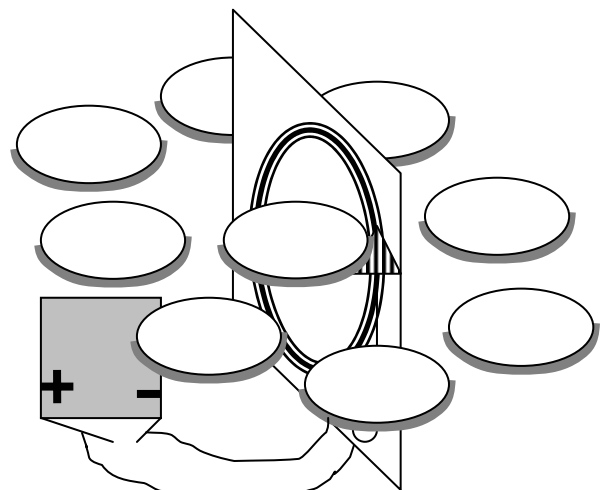
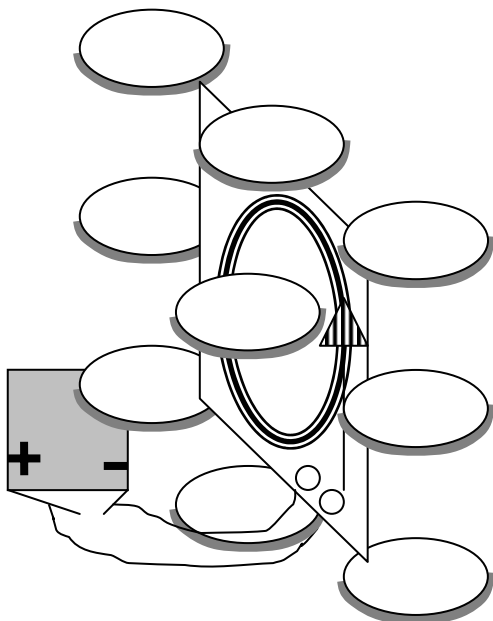
Por que será?

2-Explica coa axuda desta figura por qué o compás sinala sempre hacia o Norte:



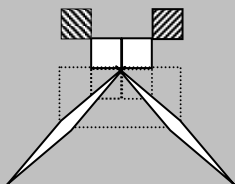
Dacordo ao que observas na figura, e sabendo que a Terra (e tamén o seu núcleo) rota de O a E, de que signo serán as cargas que crean o campo magnético terrestre ao seren arrastradas polo núcleo?  
Por que?

3-Nas figuras inferiores, indica mediante unha frecha en cada óvalo cal é a orientación do compás cando se coloca na posición indicada en relación coa bobina.



Escribe aquí (ou por detrás da ficha) que conclusións extraes das figuras resultantes::

**Explicación de las Fichas**  
**Ep1 - PRÁCTICA : Electromagnetismo y Relatividad**  
**Ep2 - FICHA de la Práctica : Electromagnetismo y Relatividad**



Actividad de EXPLORACIÓN

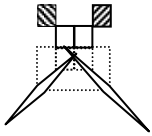
El camino teórico visual iniciado en L2i (Fuerza de Lorentz) y seguido en E2t1 (Ley de Ampère), y E2t2 (Bobinas y cargas en movimiento) llega ahora a su destino:

La posibilidad de realizar una serie de experiencias de laboratorio sobre magnetismo y electromagnetismo explicando todos los fenómenos observados mediante la Teoría de la Relatividad (y más concretamente, mediante una de las consecuencias visuales de la transformación de Lorentz: la contracción espacial).

En primer lugar, se presenta la evidencia de la atracción entre bobinas iguales con un núcleo de hierro en el medio. Conviene asegurarnos de que el efecto va a ser suficientemente fuerte para llamar la atención del alumnado, que deberá aplicar una considerable fuerza para separar las bobinas (para ello, puede ser necesario acudir a tensiones que requieran el manejo directo por parte del profesor, ya que al interrumpir la corriente en una bobina se producen corrientes inducidas transitorias).

Esta experiencia sensible contribuye a despejar numerosas dudas sobre la realidad de la teoría que están viendo hasta el momento, y por lo tanto a afirmar la validez de todas las restantes conclusiones que se obtienen de una manera visual análoga. Por eso, **no conviene hablar en esta actividad de polos y de campos magnéticos para explicar las observaciones**, puesto que perderíamos esa capacidad de relacionar este único experimento posible con los restantes fenómenos relativistas.

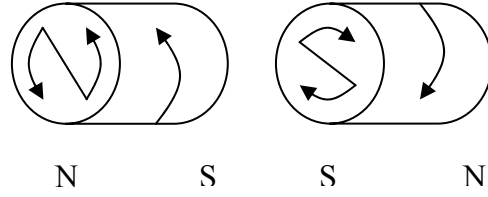
Avanzando en la práctica, se explica el funcionamiento de una brújula (*compás*) como una pequeña bobina de prueba (como vimos en la actividad anterior), y la orientación de la misma en la superficie terrestre como consecuencia de haber cargas giratorias en el núcleo. Al final, aparecen las palabras “polo” y “campo” como consecuencia de nuestra exploración sistemática, no como conceptos “a priori”.



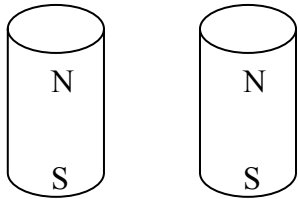
**E2t3 - Campo magnético**

En cada figura, indica se haberá Atracción (A), Repulsión (R) ou Xiro (X), e cara onde tenderá a moverse cada imán ou bobina representadas.

Para relacionar o sentido de xiro das correntes circulares atómicas cos polos dos imáns, podes usar esta regra visual:  
Xustifica cada forza de atracción ou repulsión mediante o efecto relativista sobre as respectivas correntes eléctricas.



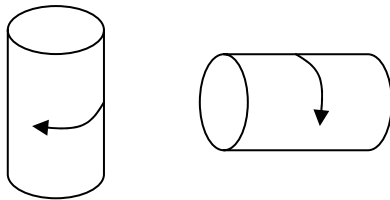
Caso a) Dous imáns:



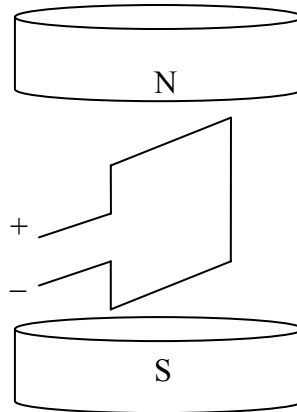
Caso b) Imán e bobina:



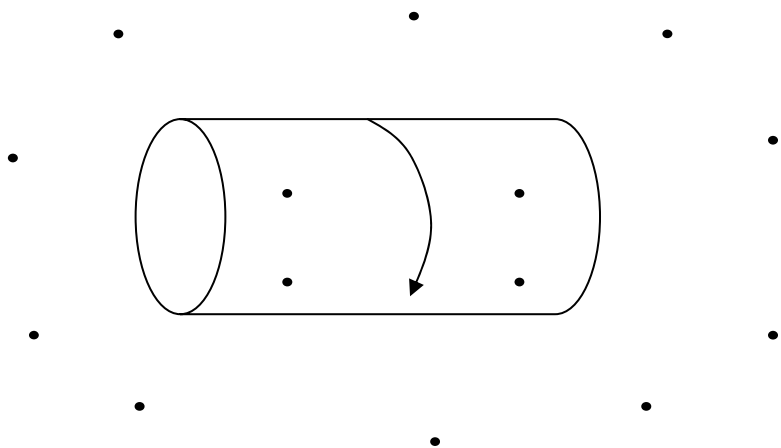
Caso c) Dúas bobinas:



Caso d)  
Motor  
Eléctrico:



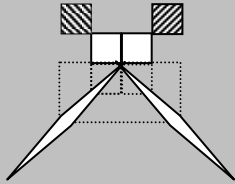
Supón que en cada un dos puntos da figura situamos un pequeno imán orientable ou compás magnético. (ten en conta que os puntos centrais están na parte interior da bobina). Indica mediante unha frecha en cada punto a posición que adoptaría cada compás en relación coa bobina.



Serías capaz de trazar unhas liñas que unisen os diferentes puntos seguindo as direccións das frechas? Que podes dicir das liñas debuxadas?

Comproba o que acontece cando botamos limaduras de ferro sobre unha caixa situada por riba dun imán, Ten algo que ver coa figura trazada?

## Explicación de la Ficha E2t3 - Campo magnético



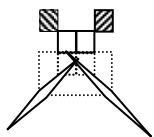
### Actividad de APLICACIÓN

En la actividad práctica anterior (E2p) aparecieron al final las palabras “polo” (asociado con la idea de “polo Norte terrestre”) como punto de referencia para una pequeña bobina giratoria, y “campo” como orientación coordinada de varias bobinas alrededor de un imán central.

Dichos conceptos de “polo” y de “campo” ya habían sido analizados previamente sin nombrarlos como tales (actividad E2t2) como una consecuencia más de la explicación relativista visual utilizada en todo momento.

En esta actividad se procede a incorporar estos conceptos para poder utilizarlos de la manera habitual, es decir, como elementos básicos en las explicaciones electromagnéticas. No se pretende evitar el uso de estos términos por el alumnado, sino tan sólo retardar su incorporación al discurso de aula hasta que han sido explicados como una consecuencia relativista (y, sobre todo, porque será la única que se podrá presentar como evidencia en el laboratorio).

Aplicando el criterio de atracción entre corrientes iguales (o de repulsión si son contrarias) se procede a predecir la fuerza existente entre dos bobinas en varios casos, y a comprobar que se puede usar de manera equivalente el concepto de “polo magnético” para obtener los mismos resultados. De la misma forma, se explica el funcionamiento de un motor eléctrico (bobina giratoria situada entre otras dos), y la forma del campo magnético alrededor de un imán (que puede ser comprobada fácilmente por uno mismo con limaduras de hierro y un pequeño imán y así se sugiere hacer al alumno al final de la actividad).



## Ep3 - Práctica: CAMPO MAGNÉTICO

### 1- Electroimán (e Imán)

Colocar un núcleo de ferro dentro dunha bobina pola que facemos pasar unha intensidade de corrente continua, por exemplo dunha batería de 4,5 V. Facemos deste xeito un electroimán. Comprobar que atrae obxectos de ferro (mais non outros obxectos metálicos como moedas, e tampouco outras bobinas polas que non circula corrente)

Colocamos un papel por riba do electroimán e espárexemos limaduras de ferro por riba do mesmo, comprobando que se forman unhas liñas curvas. Debuxa nun papel a bobina e algunhas das liñas observadas. Repite o mesmo procedemento cun imán rectangular (fai o debuxo noutro papel). Compara coa predicción teórica feita na actividade E2t3.

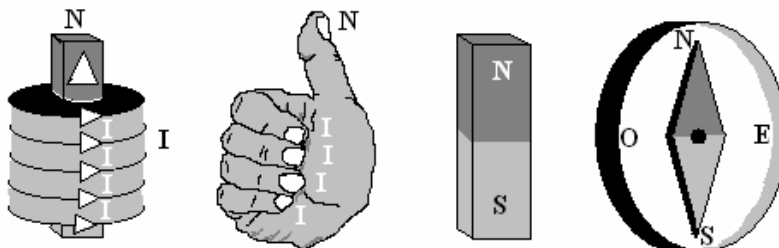
Que conclusións sacas?

### 2-Compás.

Localiza no laboratorio a dirección aproximada na que se encontra o Noirte xeográfico (corresponde coa parede contraria da que mira hacia o Sol ao mediodía). A continuación, observa como a agulla dun compás que oscila libremente remata orientándose sempre nesa dirección. Toma nota de cuál é a punta que sinala ao Norte xeográfico.

Agora, imos representar o compás mediante a túa propia man dereita (non pode ser a esquerda!). Para elo, pecha o puño dereito de xeito que quede o polegar extendido. Cando o polegar apunta hacia o Norte, as unllas dos restantes catro dedos sinalan a dirección na que xiran unhas pequenas

correntes invisibles dentro dos átomos de ferro que forman o compás. Podemos considerar que o conxunto desas correntes produce o mesmo efecto que as bobinas dun electroimán nas que xirase a corrente na dirección sinalada polas unllas da túa man dereita



### 3-Electroimán e compás

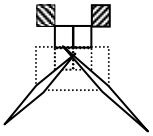
Sobre o mesmo electroimán de antes, observa o sentido de xiro da corrente eléctrica pola bobina (a corrente sae do sae do polo + da batería e retorna ao polo - da mesma). Indica o sentido de xiro no debuxo que fixeches no papel.

Utiliza a continuación o compás para establecer a orientación das liñas de campo que fixeches na mesma figura.

Debuxa o sentido do campo magnético nas liñas que debuzaches no papel (é o mesmo no que apunta o compás).

Compara co que sucede se un compañeiro teu coloca o seu puño dereito (pechado e co polegar extendido) sobre o debuxo do electroimán, de xeito que as unllas dos catro dedos pechados apunten ao sentido de xiro da corrente que debuxaches antes, e a continuación ti mesmo vas colocando o teu puño dereito (pechado igual que o do teu compañeiro) ao redor do del, de xeito que as túas unllas apunten do mesmo xeito polo lado mais achegado ao puño del. Compara a orientación na que sinala o teu polegar en cada caso coa que indicaba o compás na mesma posición (que está debuxada no papel). Coinciden as orientacións?

Que conclusión sacas?



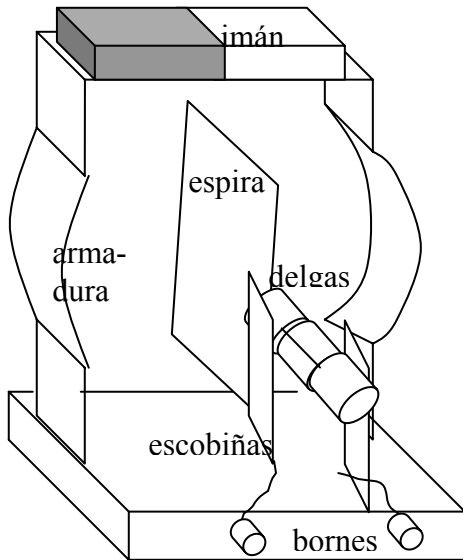
**Ep4 - Práctica: MOTOR Eléctrico**

**MATERIAIS:**

-Motor eléctrico didáctico, -Batería de 12V c.c, -Cables conductores, -Imáns permanentes (barra e disco), -Tornillo de Ferro., -Pilas de 1,5 V e 4,5 V.,

**PROCEDEMENTO:**

1-Motor eléctrico didáctico



Observa os nomes das pezas. Coloca o imán no seu lugar, comproba que a espira xira libremente e coloca as escobiñas do xeito representado na figura. Conecta os bornes a unha pila de 4,5 V. Que se observa?

Por que será? (podes facer algún debuxo pola parte de atrás desta ficha).

Despraza agora as escobiñas cara o centro das delgas, onde estas están fendidas polo medio. Dalle un pequeno impulso de xiro á espira (se non vai, conéctalle a batería de 12 V). Que se observa agora?

Por que será?

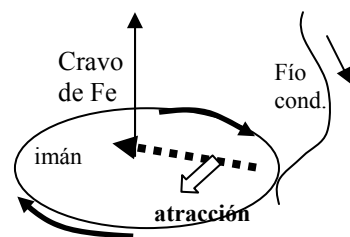
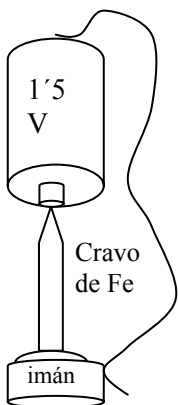
Que acontece se invertimos os polos do imán?

E se invertimos a polaridade dos bornes?

2-Motor eléctrico homopolar

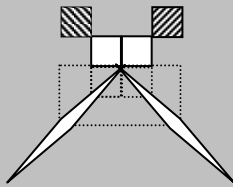
-Como funcionará o dispositivo da figura?

Pensa no que acontece dentro do disco do imán: A corrente que o atravesa (liña de puntos), é atraída polo borde do disco no que a corrente permanente leva igual sentido, polo que o disco xira nese senso. Como o fío non xira co disco, a causa do xiro permanece sempre igual, e o xiro faise continuo. Temos así un sinxelo **MOTOR ELÉCTRICO**. *Olo!* Cando constrúas o motor anterior, ten coidado porque o cravo pode saír lanzado. De que xeitos podemos invertir o xiro deste motor?



Para ter unha idea da importancia práctica da Teoría da Relatividade, nomea varios aparellos que usen motores eléctricos:

Explicación de las Fichas  
Ep3 - Práctica: Campo magnético  
Ep4 - Práctica: MOTOR Eléctrico



Actividad de INDAGACIÓN

En la actividad E2t3 se construyeron de forma gráfica los conceptos de “polos” y de “campo” asociados a una bobina, electroimán o imán.

A continuación, y de modo práctico, pasamos a averiguar si dichos conceptos se acomodan y permiten explicar los fenómenos electromagnéticos siguientes:

-Disposición de las líneas de campo alrededor de un electroimán o de un imán.

-Orientación de una brújula (“*compás*”) en relación con el polo Norte geográfico, y simulación de la misma mediante la mano derecha.

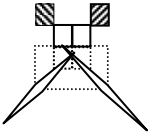
-Aplicación de la brújula para establecer la orientación de las líneas de campo, y comprobación con el resultado esperado aplicando la simulación con la mano derecha.

-Funcionamiento de un motor eléctrico didáctico:

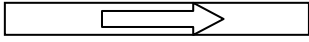
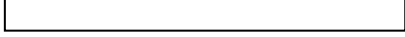
Primero, en posición estática (con las escobillas sobre los extremos anulares de las delgas): Comprobar que la posición de equilibrio corresponde con lo esperado a partir del sentido de giro de las corrientes.

A continuación, con el motor girando (con las escobillas en la parte central, partida por el medio, de las delgas). Explicar la razón y sentido del giro.

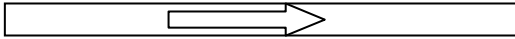
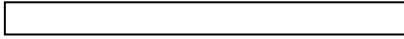
-Funcionamiento de un motor eléctrico homopolar, muy fácil de construir con materiales asequibles. La explicación del funcionamiento de este motor es bastante compleja mediante campos magnético, y sin embargo es bastante más simple mediante la modelización relativista de un imán como una corriente circular y aplicando la ley de Ampère. Con estos ejemplos completamos la comprobación práctica de la validez de la Teoría de la Relatividad para explicar fenómenos de enorme importancia tecnológica.



**E2a - PROBA DE RETENCIÓN: Contracción espacial de varañas**



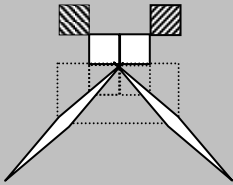
Pode ser que unha varaña que mide 1m en repouso mida menos cando se move? \_\_\_\_\_  
Por qué?



E pode ser que mida máis dun metro? \_\_\_\_\_  
Por qué?

Podes construír unha gráfica que explique as túas respostas?

**Explicación de la Ficha**  
**E2a - P RUEBA DE RETENCIÓN: Contracción espacial de varillas**



Actividad de EVALUACIÓN

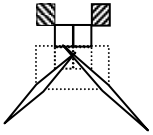
La contracción espacial fue introducida en las actividades Li (parte b), Lt (parte iv), Lt, L2a, L3t1 y fue utilizada para explicar los fenómenos electromagnéticos en las actividades L2i, E2t, E2p.

En esta ficha se pregunta sobre la posibilidad de que una varilla de 1 metro mida realmente menos al moverse que al estar parada.

Con esta pregunta se intenta averiguar la solidez de las nociones adquiridas en relación con la contracción espacial, en un contexto que cuestiona la propia definición de la unidad de medida de longitudes. El alumnado puede confundir la definición de metro (que no depende del SRI en que nos situemos) con los instrumentos o patrones utilizados para su medida (cuya longitud sí cambia al pasar de un SRI en reposo con el objeto a otro en movimiento respecto del mismo, siendo en este caso la longitud menor), y las respuestas nos darán una idea del alcance de dicha confusión.

También se pregunta si la varilla pudiera medir más, buscando provocar respuestas del tipo “todo es posible” que complican el aprendizaje de unos conceptos relativistas firmes.

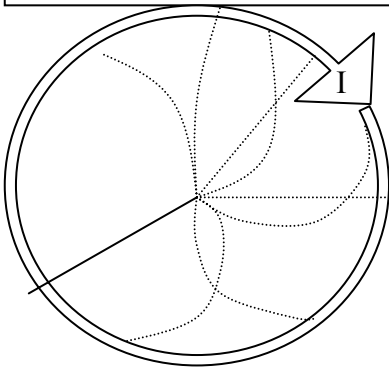
Finalmente, se intenta averiguar hasta qué punto el alumno basa sus respuestas en la representación gráfica subyacente en toda la instrucción realizada.



**E3t – Aceleradores de partículas**

Explica coas túas palabras o significado físico das seguintes figuras:

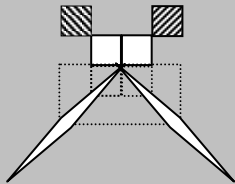
Na ficha con fotos, observa a de “creación de partículas”. Unha partícula choca a gran velocidade contra un branco fixo. Conta cantas partículas se producen (aproximadamente).: Cal será o valor de “gamma” que tiña a partícula impactante? A que velocidade corresponde? No círculo inferior, pon o signo da carga (+ ou -) correspondente a cada traxectoria.



Explica coas túas palabras porqué crees que no CERN figura en lugar destacado o poster da última foto co retrato de Einstein:

Aplicando 1V a un electrón, este acelera ata 600km/s. Aplicando 100V, ata 6000km/s, e así sucesivamente (cálculo clásico:  $V^2 \rightarrow v$ ). Cantos voltios o aceleran ao dobre de  $c$ ? O sincrotrón do CERN aplica ata 10 GV aos electróns que xiran polo anel de 30 km. Cal sería a velocidade á que irían, dacordo coa regra anterior? En realidade, van practicamente á velocidade da luz. Cando chocan, poden producir 2.000 partículas como eles, de tanta enerxía que levan:  $\gamma = 2.000$ . Aplica a fórmula de gamma (ao revés) para calcular a velocidade  $v =$  : Polo tanto, a diferenza coa velocidade da luz é de unha parte en \_\_\_\_\_

Explicación de la Ficha  
**E3t** – Aceleradores de partículas



Actividad de APLICACIÓN

La velocidad límite fue analizada en las actividades Li (parte c), L3t1, L3a.

La contracción espacial fue introducida en las actividades Li (parte b), Lt (parte iv), Lt, L2a, L3t1 y fue utilizada para explicar los fenómenos electromagnéticos en las actividades L2i, E2t, E2p.

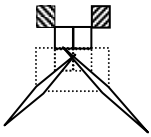
La equivalencia entre masa y energía, por su parte, fue abordada en las actividades Li (parte d), Lt (parte iii), L3t1, L4t, L4a.

En esta nueva actividad se propone aplicar todos estos conocimientos al análisis del funcionamiento y características de un acelerador de partículas.

Para ello, se analiza primero cómo las partículas giran en el interior de un anillo circular guiadas por corrientes eléctricas que modelizan el efecto de los enormes imanes utilizados.

También se presentan diagramas en los que se puede visualizar la creación de nuevas partículas en una colisión inelástica, así como la aniquilación de materia y antimateria. Estos aspectos serán tratados con mayor detalle en las actividades E4i.

Después de identificar la carga de las partículas a partir de sus trazas en los detectores, se expone con valores reales el efecto de la velocidad límite.



### E3a - P ROBA DE RETENCIÓN: Aceleradores lineais



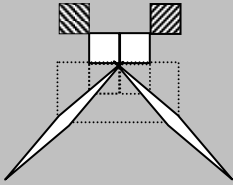
Nun acelerador lineal, aplícanse campos eléctricos cada vez máis intensos para facer que as partículas cargadas vaian cada vez máis rápido. Existe algún límite para a velocidade que as partículas poden chegar a acadar por este procedemento?

Cal sería este límite, no caso de que existise?

Por que?

Podes facer unha gráfica explicativa das túas respostas anteriores?

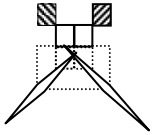
Explicación de la Ficha  
E3a - P RUEBA DE RETENCIÓN: Aceleradores lineales



Actividad de EVALUACIÓN

La velocidad límite fue analizada en las actividades Li (parte c), L3t1, L3a., y en la actividad E3t se expuso el funcionamiento de los aceleradores de partículas para el caso concreto de un acelerador circular.

En esta actividad de evaluación (con características de aplicación) se expone el caso de un acelerador lineal, conceptualmente más simple, para cuestionar la operatividad del concepto de velocidad límite.

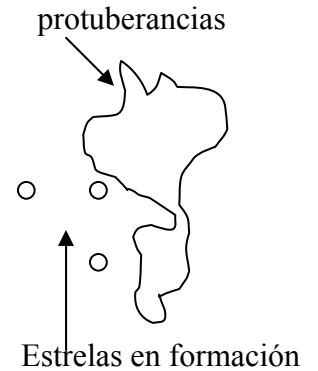


## E4i1 - ENERXÍA NUCLEAR E FORNOS ESTELARES (ver as fotos)

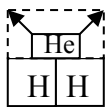
Os elementos químicos coñecidos foron creados todos eles no interior de estrelas que posteriormente estouparon diseminándoos polo espacio, nun proceso en varias fases:

### -Nubes moleculares

A materia do Universo está formada practicamente polo elemento Hidróxeno, que ten un único protón no seu núcleo.. A forza da gravidade tende a formar grandes masas deste gas, nas que se mantén un equilibrio entre a Enerxía potencial gravitatoria,  $E_p$  (que diminúe cando o tamaño da nube é menor) e a Enerxía cinética térmica,  $E_c$ . A  $E_c$  aumenta cando diminúe a  $E_p$ , de xeito que a suma total ( $E_c + E_p$ ) é constante. As nubes vanse quentando a medida que se concentran cada vez máis (menor  $E_p$  e maior  $E_c$ ). A medida que se quentan, aumenta a velocidade media dos átomos mais os choques entre estes son elásticos (non se perde ningunha enerxía cinética nos mesmos). A forma das nubes é irregular, con protuberancias nas que a  $E_p$  aumenta de novo a costa da  $E_c$  (enfriamento).



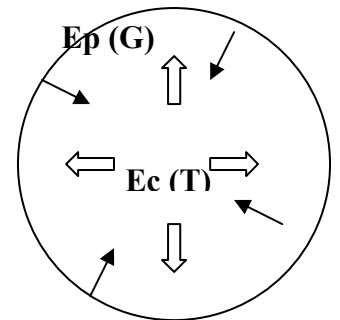
### -Estrelas



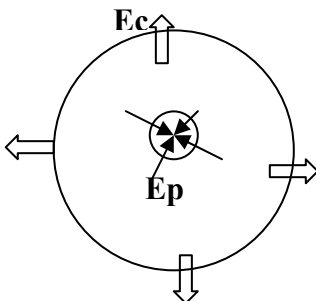
Cando a contracción gravitatoria é tal que a velocidade dos átomos de Hidróxeno supera os 3.000 km/s (0'01c), prodúcese un proceso de fusión nuclear, no que se xuntan dous núcleos de H para producir un núcleo de He (choque inelástico).

Neste proceso libérase enerxía en forma de radiación, que sae ao exterior producindo o brillo típico das estrelas, como é o caso do Sol. Mentras dura este proceso, a estrela mantén unha forma esférica estable durante miles de millóns de anos.

Cando se acadan velocidades de 0'1c, os núcleos de He fúsiónanse entre eles, producindo elementos cada vez máis pesados, ata chegar ao Ferro, de número atómico 56. A partir de ahí, a fusión xa non libera enerxía senón que a absorbe, polo que o proceso detense.

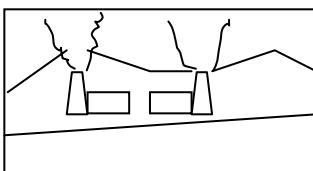
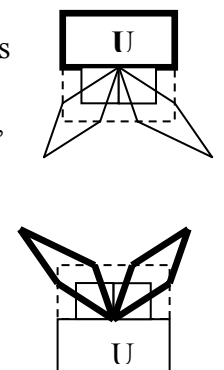


### -Supernovas



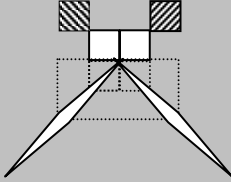
Cando a estrela é grande (máis de 10 veces o noso Sol), a gravidade no seu interior é tan forte que fusiona tódolos núcleos atómicos nunha gran implosión. Ao mesmo tempo, as capas exteriores saen repelidas cara fóra, formándose unha supernova, fenómeno que pode durar varios días. Nesa explosión prodúcese neutróns que se fusionan cos núcleos de Fe, producíndose os elementos pesados ata o Uranio.

Estes elementos tenden a descompoñerse co paso do tempo, liberando a enerxía almacenada en forma de elementos máis lixeiros (fisión nuclear) que á súa vez poden ser radioactivos



(criando o problema dos residuos). Nos reactores nucleares provócase a fusión bombardeando os átomos pesados con neutróns. Pódese dicir, polo tanto, que todos os elementos químicos (incluso os que dan forma aos nosos corpos) foron creados mediante reaccións de fusión nuclear no interior de estrelas xa desaparecidas.

## Explicación de la Ficha E4i1 - ENERGÍA NUCLEAR Y HORNOS ESTELARES

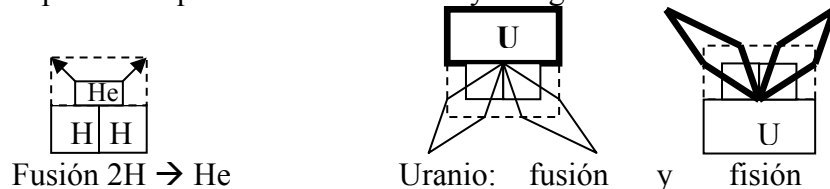


### Actividad de ESTRUCTURACIÓN

La equivalencia entre masa y energía fue abordada en las actividades Li (parte d), Lt (parte iii), L3t1, L4t, L4a, E3t.

En esta nueva actividad hacemos uso de este concepto para explicar fenómenos de tanta relevancia como la fusión nuclear (aplicada al caso de una estrella), y de la fisión nuclear (explicada como el proceso contrario al producido en una supernova).

Se utilizan unos gráficos basados en las figuras utilizadas para explicar la equivalencia entre masa y energía:



Estas figuras tienen dos partes: La parte inferior representa la situación antes de la reacción nuclear, y la superior el resultado de la misma.

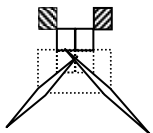
En cada caso, los rectángulos sólidos representan la masa de las partículas en reposo, y las líneas de puntos el principio de conservación de la energía total (masa + energía).

Podemos ver en la figura de la izquierda que la masa de dos partículas de H es superior a la de una de He, y cómo la energía restante se emite en forma de radiación (luz solar).

En la figura central vemos cómo dos núcleos que chocan con la suficiente energía cinética (rombos alargados) pueden producir un núcleo de mayor masa ( $2\text{Pd} \rightarrow \text{U}$ ).

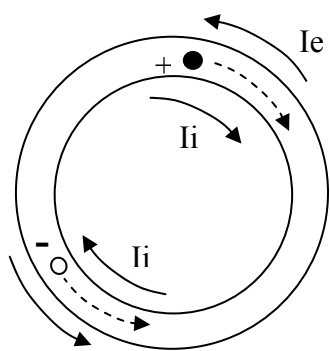
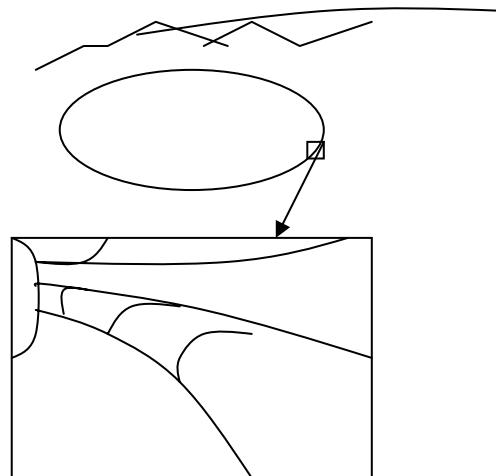
La última figura es inversa de la anterior, y explica la producción de energía nuclear por fisión de un núcleo pesado en dos más ligeros, que llevan la energía sobrante en forma de Ec.

Las 4 primeras fotos de la ficha E4i3 ilustran de forma visual los procesos explicados en esta actividad.



**E4i2 - ACELERADORES DE PARTÍCULAS (ver as fotos)**

Para investigar as propiedades das partículas que forman os átomos, constrúense os aceleradores de partículas, aparellos nos que se fan chocar unhas coas outras para analizar o que sucede. Os aceleradores máis potentes chámanse “sincrotróns”, e teñen forma de grandes anéis circulares. O maior deles está en Europa, no CERN (entre Franza e Suiza), medindo uns 9 km de diámetro.



As partículas cargadas son mantidas na órbita circular polo fenómeno relativista da interacción entre correntes eléctricas:

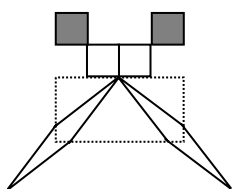
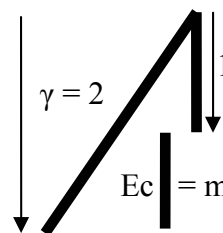
Grandes imáns

superconductores producen unha corrente  $I_e$  no exterior do anel, e outra igual en sentido contrario polo interior do anel,  $I_i$ . As partículas positivas circulan no sentido de  $I_i$ , que as atrae cara o interior, mentras que  $I_e$  as repele (tamén cara o interior). As partículas negativas circulan en

sentido contrario ás positivas, polo que tamén son atraídas por  $I_i$  e repelidas por  $I_e$ . As partículas son aceleradas ao final de cada volta mediante campos eléctricos cada vez máis intensos, que lles suministran cada vez máis  $E_c$ , chegando a ter valores de  $\gamma$  de varios millares (velocidades a menos dunha millonésima do valor de  $c$ ).

-Creación de novas partículas

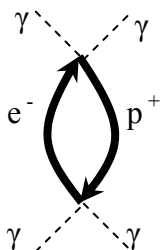
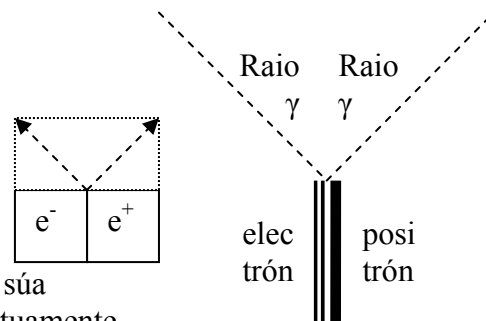
Cando a velocidade das partículas chega a superar os 260.000 km/s =  $0,87c$ , o factor “gamma” faise superior a 2 (podes comprobalo por ti mesmo facendo un diagrama tipo 3), polo que adquiren unha Enerxía cinética igual ou superior á súa propia masa:



$E_c = m(\gamma - 1) > m$ . A partir dese momento, faise que as partículas positivas colisionen coas negativas. A enerxía acumulada nestes choques inelásticos permite producir novas partículas idénticas ás que colisionan (ou maiores, se a  $E_c$  é dabondo elevada). Neste proceso, polo tanto, estase a transformar enerxía en materia.

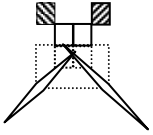
-Antimateria.

As partículas producidas nas colisións fórmanse en pares con propiedades totalmente opostas, chamándose unha delas “materia” (como os electróns,  $e^-$  e os protóns,  $p^+$ ), e a outra “antimateria” (como os positróns,  $e^+$  ou os antiprotóns,  $p^-$ ).



Cando unha partícula de materia se atopa coa súa correspondente antipartícula, aniquílanse mutuamente, liberando toda a súa enerxía en forma de radiación (raios  $\gamma$ ).

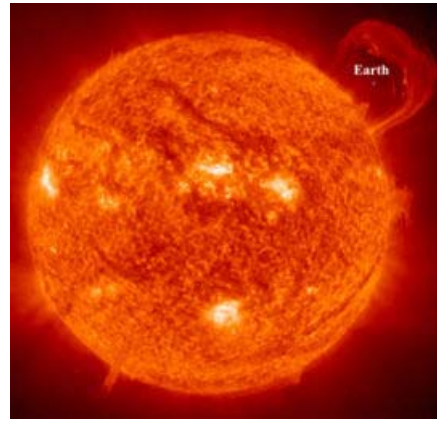
Algunhas teorías interpretan a antimateria coma se fose materia viaxando cara atrás no espazo-tempo, o que daría certo sentido visual aos diagramas en bucle resultantes.



## E4i3 - Fotos Enerxía Nuclear



Nube de Gas



Estrela (o Sol)



Supernova



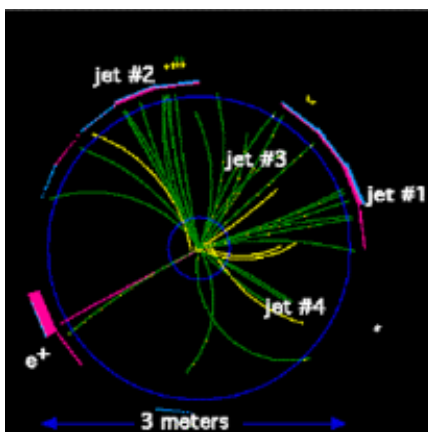
Central nuclear



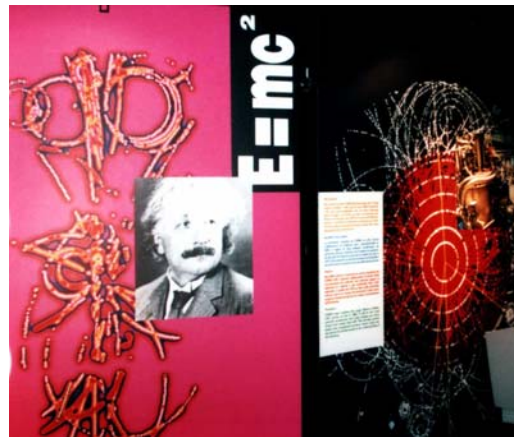
Anel do sincrotrón do CERN



Interior do anel do sincrotrón

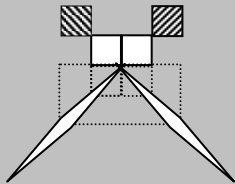


Creación de partículas



Einstein (panel no CERN)

Explicación de las Fichas  
**E4i2 - ACELERADORES DE PARTÍCULAS**  
**E4i3 - Fotos Energía Nuclear**



Actividad de REESTRUCTURACIÓN

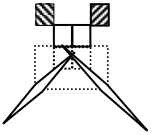
En la actividad E3t se introdujeron una serie de cuestiones relativas al funcionamiento de los aceleradores de partículas mediante la aplicación de los conceptos relativistas de velocidad límite, magnetismo (contracción espacial) y equivalencia entre masa y energía.

En esta actividad se analizan estas mismas cuestiones en mayor detalle, acompañadas de material fotográfico:  
Se presenta un acelerador circular como un gigantesco mecanismo basado en la aplicación de las leyes del magnetismo siguiendo el razonamiento utilizado en la actividad E2t2.

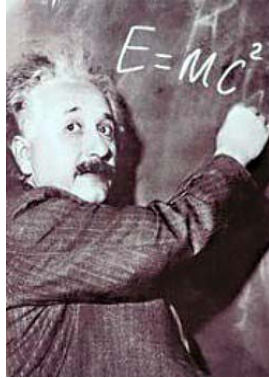
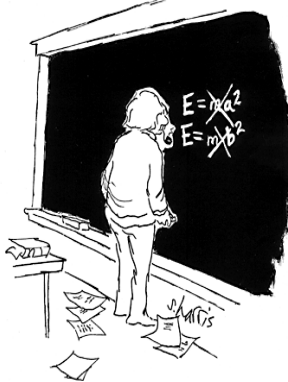
Posteriormente, se utiliza un gráfico análogo a los explicados para la actividad anterior (E4i1) para visualizar el proceso de creación de nuevas partículas a partir de otras idénticas que chocan con la suficiente velocidad. Vemos que el estiramiento de los rombos debe ser tal que el rectángulo de puntos admita dos nuevos cuadrados. Esto se explica también mediante un gráfico análogo a los vistos en la actividad E4t.

Finalmente, se introduce el concepto de antipartícula para explicar cómo la materia se puede aniquilar por completo con la antimateria para producir energía en forma de radiación.

En este caso, la radiación se representa mediante dos flechas diagonales en el rectángulo de puntos. La longitud de estas flechas será una medida de la energía de la radiación producida.



**E4a1 - PROBA DE RETENCIÓN: Equivalencia entre masa e enerxía**



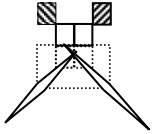
¿Que nos di a ecuación  $E = mc^2$ ? Pon *V* ou *F* segundo as respostas sexan verdadeiras ou falsas.

- A masa e a enerxía son dúas formas da mesma magnitude.
- A masa convértese en enerxía cando viaxa á velocidade da luz.
- A masa convértese en enerxía cando se despraza á velocidade da luz ó cadrado.
- Unha determinada masa  $m$  necesita unha enerxía  $E$  para poñerse en movemento.
- $E$  é a enerxía equivalente a unha determinada masa.

En que te basas para facer a escolla?

Como se escribe a fórmula anterior nun sistema de referencia como os que usamos na representación gráfica da transformación de Lorentz?  
Por que?

Utiliza esta nova expresión para xustificar as túas respostas anteriores.



**E4a2 - PROBA DE RETENCIÓN: Aceleradores circulares (creación de materia)**



Como sabes, na actualidade está a ser construído nas instalacións do CERN en Ginebra o que será o maior acelerador de partículas do mundo, denominado LHC, dentro dun túnel circular duns 30 km de circunferencia. Partículas como os protóns serán alí acelerados cunha dose cada vez maior de enerxía para facer despois que colisionen entre elas e observar o que se produce.

Cando se producen as colisións, aparecen novas partículas, moitas delas idénticas ás que chocaron. Se facemos chocar dous protóns cunha enerxía de 1 GeV, pódense producir outro par de protóns adicionais. Se incrementamos a enerxía ata 10 GeV, prodúcese 10 pares de novos protóns, e se chegamos ao tope de 1 TeV = 1000 GeV, a cantidade de protóns producidos pode chegar aos dous millares.

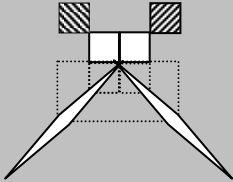
a) A que se debe isto?

b) Podes xustificar a resposta anterior baseándote nunha gráfica  $e/t$ ?

## Explicación de las Fichas

**E4a1** - PRUEBA DE RETENCIÓN: Equivalencia entre masa y energía

**E4a2** - PRUEBA DE RETENCIÓN: Aceleradores circulares (creación de materia)



### Actividad de EVALUACIÓN

Las fichas anteriores corresponden con dos actividades de evaluación posterior de los conocimientos adquiridos, en este caso relacionados con la equivalencia entre masas y energía y sus consecuencias.

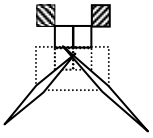
Estos conceptos fueron desarrollados a lo largo de la secuencia en las siguientes actividades: Li (parte d), Lt (parte iii), L3t1, L4t, L4a, E3t, E4i1, E4i2.

La primera de las fichas (E4a1) presenta una visión cómica del descubrimiento de la célebre fórmula de Einstein, como una especie de fórmula mágica que estaba ahí para ser descubierta.

A continuación se pone en cuestión el significado de la misma mediante un test de varias preguntas que van dirigidas sobre todo a averiguar hasta qué punto el alumnado asigna propiedades “mágicas” a los componentes de dicha fórmula. Es decir, como si la fórmula de Einstein se explicase a sí misma mediante los diferentes elementos que la componen, en especial la velocidad de la luz que aparece de forma explícita.

La segunda parte de la ficha E4a1 intenta ayudar al alumno a desmarcarse de dichas interpretaciones, presentando el SR que se usó a lo largo de toda la secuencia didáctica visual, y en el que la “c” desaparece de la fórmula.

La ficha E4a2 tiene características de actividad de aplicación, pues en ella se propone el análisis de una situación en la que se crea materia a partir de energía, aportando datos realistas y pidiendo una interpretación de los mismos a partir de la Teoría de la Relatividad (en concreto, la equivalencia entre masa y energía).



## Ea1 - CUESTIÓNS SOBRE RELATIVIDADE ESPECIAL

Sempre que poidas, explica as respostas ás cuestións seguintes facendo gráficos e/t explicativos pola parte de atrás.

1.- Pode ser que unha varíña que mide 1m en repouso mida menos cando se move?  
Por qué?

E pode ser que mida máis dun metro?  
Por qué?

2.- Pódese sobrepasar a velocidade da luz? A que se debe?

3.-Cal é a principal diferenza xeométrica entre as transformacións de Galileo e Lorentz?

A que é debida?

Que consecuencias ten?

4.-Explica como se transforma a masa en enerxía nunha reacción nuclear de fisión.

5.-A que se debe a atracción entre 2 fíos conductores paralelos con correntes eléctricas iguais?

Como explicarías a atracción entre dous electroimáns?

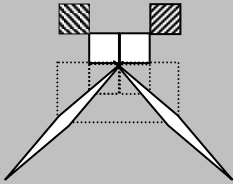
6.-Que propiedade xeométrica da transformación de Lorentz xustifica a equivalencia entre masa e enerxía? Explícao gráficamente.

7.-Que consecuencias extraeu Lorentz do experimento de Michelson, e por que?

8.-Pódese dicir que un avión voando cara o Oeste á velocidade de rotación da Terra está en repouso? Por que?

9.-Que acontece co tempo cando un reloxo se despraza a gran velocidade?

Explicación de la Ficha  
**Ea1 - CUESTIONES SOBRE RELATIVIDAD ESPECIAL**



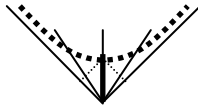
Actividad de EVALUACIÓN

Esta actividad presenta unas preguntas de corte clásico en las que se pide al alumno que explicita los conocimientos adquiridos sobre los siguientes aspectos:

- 1-Contracción espacial
- 2-Velocidad límite
- 3-Diferencias entre la transformación de Galileo y la de Lorentz
- 4-Equivalencia entre masa y energía (reacciones de fusión)
- 5-Electromagnetismo
- 6-Equivalencia entre masa y energía (justificación)
- 7-Consecuencias de la experiencia de Michelson
- 8-Reposo relativo (relatividad clásica)
- 9-Dilatación temporal

# Hubble

## Cálculos relativistas, Cosmología básica



La siguiente Unidad Didáctica intenta explorar algo más allá de la visión cualitativa (o semi-cuantitativa, en algunos casos) de la Teoría de la Relatividad Especial conseguida hasta el momento.

Y esto se realizará en dos direcciones:

### **1- Enfoque cuantitativo**

Para ello, se hace uso de la capacidad de los gráficos geométricos de ofrecer resultados cuantitativos rigurosos

### **2-Introducción visual a la estructura del Universo (Cosmología del Big Bang)**

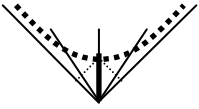
Para ello, se aplica la visión gráfica de la relatividad especial para explicar de forma visual y elegantemente simple dos aspectos aparentemente contradictorios de la teoría del Big Bang:

Cómo es posible ver el inicio mismo del Big Bang (radiación cósmica de fondo) si ninguna radiación puede viajar más veloz que la luz? Dado que el Big Bang ocurrió hace unos 15 GaL, la radiación de fondo que recibimos debe haber estado viajando todo ese tiempo, pero entonces debería proceder de un punto situado a 15 GaL de nosotros en el momento de ser emitida. El fotón de radiación más antiguo capaz de llegar en este momento hasta nosotros debería proceder del borde del Universo en expansión cuando este tenía la mitad de la edad actual, es decir, 7,5 Ga, para así poder estar recorriendo toda esa distancia de 7,5 GaL durante el tiempo restante!

Cómo es que el Universo actual tiene un tamaño determinado (una esfera de 15 GaL de radio), y sin embargo contiene un número ilimitado de galaxias?

Se dedican estas actividades a la memoria de Edwin Hubble por ser el científico que puso en evidencia la continua expansión del Universo a partir de resultados experimentales fruto de toda una vida de observaciones.

Finalmente, se incluyen una serie de actividades de recapitulación y evaluación final bajo la etiqueta genérica “**R**”



## Hd - DEBATE SOBRE A CONSTANTE DE HUBBLE

O astrónomo escocés Edwin Hubble atopou que canto máis lonxe estaba de nós unha galaxia, máis bermella se volvía a súa luz. O efecto Doppler dinos que cando unha onda é emitida por unha fonte en movemento, a súa frecuencia varía, diminuindo cando se alonxa de nós (por iso o pitido dun tren pasa de agudo a grave cando pasa onde nós). Cando diminuímos a frecuencia da luz, vóltase cada vez máis bermella, polo que Hubble chegou á conclusión de que as galaxias se afastaban de nós cunha velocidade cada vez maior canto máis lonxe estaban. De feito, parecían proceder todas dun punto común, situado hai 15.000 millóns de anos (15 Ga) onde hoxe está situada a Terra.

Como interpretarías ti estas observacións?

- 1-Isto é unha ilusión óptica, pois a luz das galaxias pódese ir voltando bermella a medida que atravesa distancias cada vez maiores.
- 2-O Universo non se expande (posto que é infinito), senón que son as galaxias as que se separan unhas das outras con maior velocidade ao aumentar as distancias.
- 3-O Universo expándese do mesmo xeito que a superficie dun globo na que marcamos uns puntiños e despois soplamos nel. A medida que se infla, cada un dos puntos ve que os outros se separan del cunha velocidade proporcional á distancia que os separa.
- 4-Outra (explicaa en poucas palabras):

Explica o número da explicación que máis che convence: \_\_\_\_\_

Xustifica razoadamente dita elección, facendo tamén un debuxo explicativo na parte traseira do folio.

Despois xúntate cos demais membros de teu grupo e procurade chegar a unha conclusión común respecto da mellor explicación dos feitos observados por Hubble, que poidades defender con argumentos ante os demais grupos.

Grupo N<sup>o</sup>:                      Nomes:

Anota a conclusión:

Razóns:

Opinión persoal:

Explicación de la Ficha  
Hd - DEBATE SOBRE LA CONSTANTE DE HUBBLE



Actividad de EXPLORACIÓN inicial

La mecánica recomendada para estos debates está explicada en las páginas de la Introducción.  
Se indican a continuación algunos ejemplos de frases que pueden ser usadas a conveniencia por el profesor/a para animar u orientar las discusiones del alumnado:

.....

Relatividade:

1-A experiencia de Hubble demostra que estamos no centro dun Universo que se expande.

-Pero o repouso é relativo. Entón, calquera galaxia pode estar no centro igual ca nós.

*2-O límite do Universo está onde as galaxias se afastan de nós coa velocidade da luz.*

*-Pero ese límite non existe, e calquera galaxia que estea case no borde (á dereita de nós), dende o seu Sistema de Referencia, estará no centro do Universo, nós nun borde (á esquerda) e aínda quedará outro tanto para a dereita.*

Pódese atopar en Wikipedia unha discusión (en inglés) sobre a Teoría do Big Bang. Con cal destas posturas estás máis dacordo, e por qué?

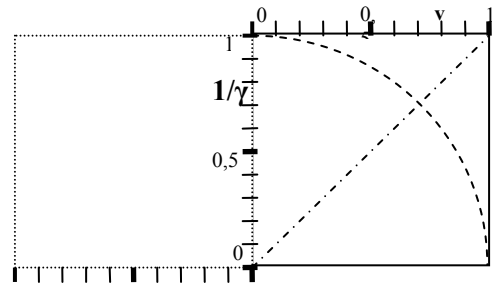
*1-O Universo visible ten un límite, que está onde as galaxias retroceden á velocidade da luz. Pero o Universo no seu conxunto non ten límites, polo que debe conter partes que non podemos ver dende a Terra.*

*2-Non existen partes do Universo que non podamos ver cos nosos telescopios. A razón está en que, de existir eses lugares, as partículas que contiveran estaríanse separando de nós a velocidades superiores á da luz, e iso é imposible*

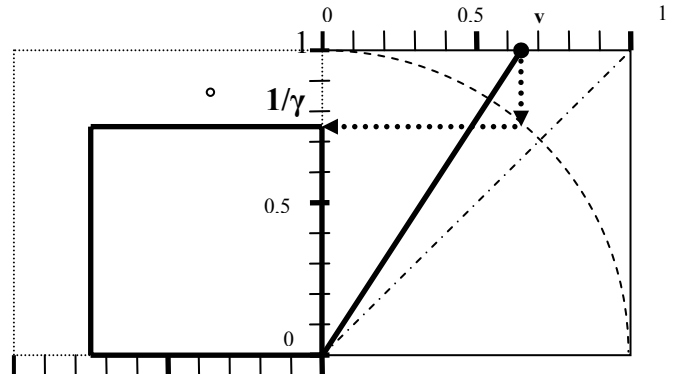


## H1i - Factor “gamma” ( $\gamma$ ) relativista: Construcción gráfica

A seguinte figura permite construír de forma gráfica o cadrado  $e/t$  do SR orixinal sabendo o valor de “ $v$ ” (velocidade relativa á da luz) ou o de “ $\gamma$ ” (dilatación temporal e demais efectos relativistas).  
 Escala superior dereita: valores de  $V$  entre 0 e 1.  
 Escala vertical do centro: valores de  $1/\gamma$  (contracción espacial, a inversa da dilatación temporal), entre 1 (sen contracción) e 0 (contracc. infinita).



Na figura seguinte podemos observar como se traza a gráfica a partir dun certo valor de  $v$  (seguir as liñas de puntos): Báixase ata o arco de circunferencia, e desde alí cara a esquerda ata a escala central vertical, onde podemos ler o valor de  $1/\gamma$ .



Nesta figura,  $v = 0,66$  e  $1/\gamma = 0,75 \rightarrow \gamma = 1,33$ .

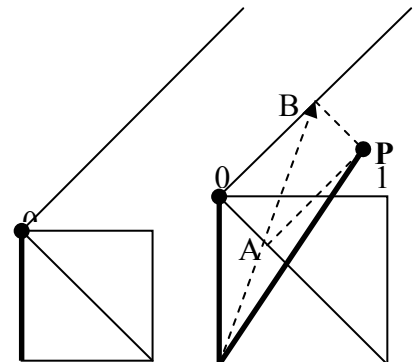
Podemos usar a escala inferior esquerda para reconstruír o cadrado  $e/t$  (SR) orixinal.

Se partimos do valor de  $\gamma$  (dilatación temporal) ou de  $1/\gamma$  (contracción espacial), seguiremos o camiño das frechas en sentido inverso. *Faino na ficha 1.*

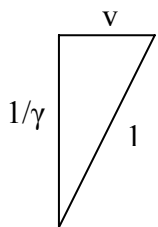
Dado que en cada caso varía o cadrado orixinal, aquela construción non se pode usar para representar dúas transformacións con velocidades diferentes.

Para iso, podemos acudir á seguinte figura:

Dende a esquina inferior esquerda trazamos unha liña inclinada (frecha de puntos), que corta os eixes inclinados en 2 puntos (A e B). A partir destes trázanse dúas perpendiculares aos eixes, que se cortan no punto P, que é un dos lados do rombo para unha certa velocidade. Do mesmo xeito podemos obter outros puntos: *Ficha 2.*



### Uso da calculadora para obter o valor de “gamma”:



A relación entre  $v$  e  $\gamma$  pódese obter mediante un triángulo rectángulo (Teorema de Pitágoras).

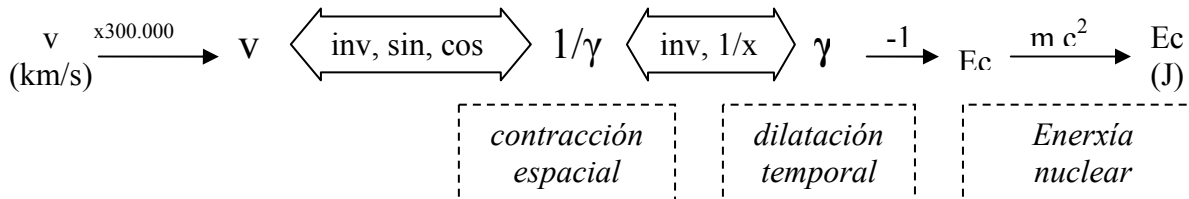
Coa axuda da calculadora podes pasar facilmente do valor de  $v$  ao de  $1/\gamma$ .

Só tes que premer a teclas **INV-SIN-COS**, sempre nesta orde.

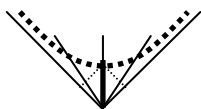
O mesmo sirve para pasar de  $1/\gamma$  a  $v$ . Compróbaos cos valores de arriba.

Lembra que os valores son relativos ( $c = 1$ ,  $m = 1$ ). Se queres usar valores absolutos, podes usar a seguinte secuencia de pasos coa calculadora:

Paso de “ $v$ ” aos *efectos relativistas*:



Invertindo a orde, pódese calcular a velocidade necesaria para producir un certo efecto.



(com

### H1t1 - Construcción de $\gamma$ a partir de $v$ (e viceversa)

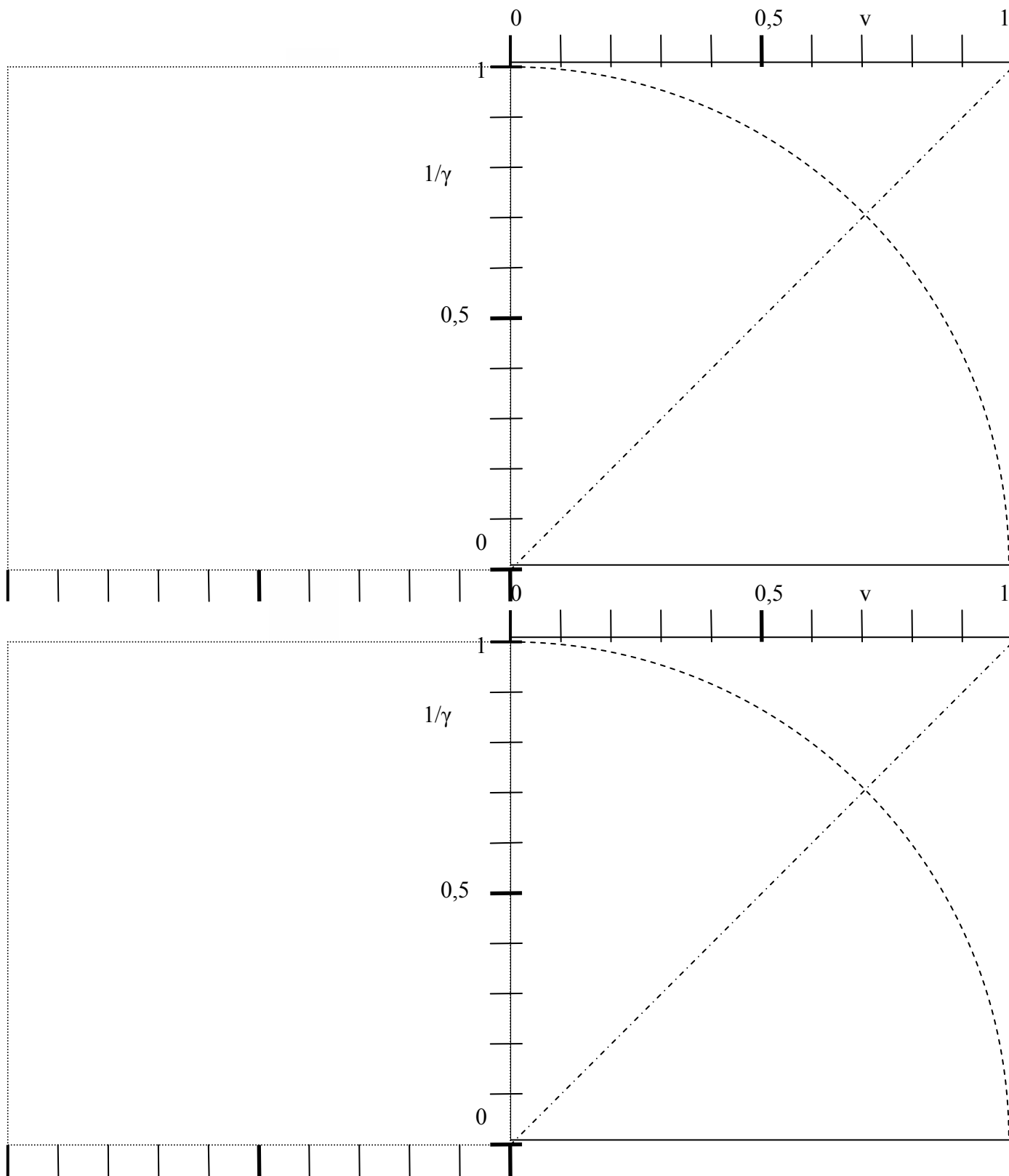
*proba os valores usando a calculadora)*

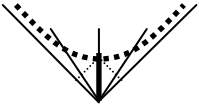
-Na figura superior, escolle un valor para a **velocidade** (en km/s, entre 0 e 300.000):

Divídeala pola velocidade da luz, e terás o valor de “ $v$ ”:  $v =$

Constrúe a figura, mide nela o valor de  $1/\gamma$ , e calcula a súa inversa:  $\gamma =$

-Na figura inferior, escolle un valor para  $\gamma$  (de 1,1 a 10):  $\gamma =$  . Calcula  $1/\gamma$ , e traza a figura para calcular a velocidade relativa. Multiplícao por 300.000, e terás  $v =$





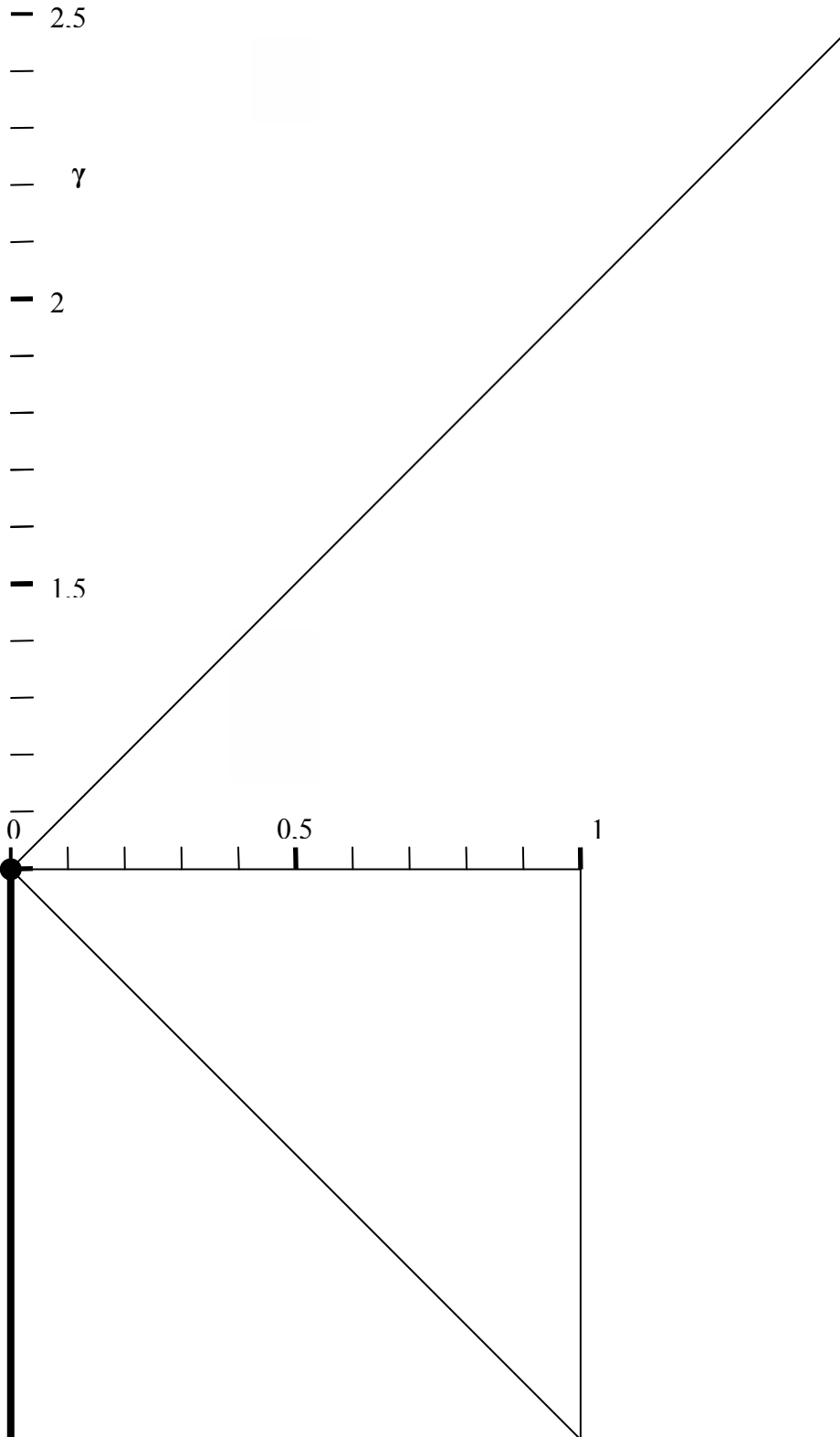
**H1t2** - Construcción gráfica de varias transformaciones do mesmo S.R.

*(comproba os valores usando a calculadora)*

-Utiliza a figura para marcar varios puntos correspondentes a outras tantas velocidades relativas. Mide para cada un deles  $v$  e  $\gamma$ :

Que observas na sucesión dos puntos?

$v =$	$v =$	$v =$	$v =$
$\gamma =$	$\gamma =$	$\gamma =$	$\gamma =$



## Explicación de las Fichas

**H1i** - Factor “gamma” ( $\gamma$ ) relativista: Construcción gráfica

**H1t1** - Construcción de  $\gamma$  a partir de  $v$  (y viceversa)

**H1t2** - Construcción gráfica de varias transformaciones del mismo S.R.



### Actividad de INDAGACIÓN

Mediante esta actividad se avanza un paso más en la interpretación cuantitativa de la Relatividad Especial, a partir de las propiedades geométricas de la transformación de Lorentz.

Ya en las actividades Lt5 y Lt6 (maqueta relativista, UD Lorentz) se había introducido un mecanismo analógico para obtener unos valores que nos permitieran cuantificar de forma aproximada los efectos relativistas en diversas situaciones.

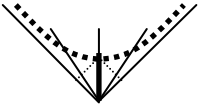
En esta actividad se introducen dos procedimientos visualmente análogos (por lo que el alumnado ya tiene cierta familiaridad con los mismos), pero esta vez totalmente rigurosos:

-H1t1: Obtención gráfica del principal factor relativista (“gamma”) a partir de la velocidad. Este factor permite cuantificar los valores de la dilatación temporal, la contracción espacial y la energía cinética relativista mediante una figura realizada con regla y compás (y por lo tanto capaz de la mayor exactitud). Esta construcción gráfica también permite realizar el proceso inverso: determinación de la velocidad necesaria para que un efecto relativista tenga un cierto valor.

La construcción gráfica tiene una limitación en su aplicabilidad: Dado que se altera el tamaño del cuadrado inicial, no sirve para comparar entre sí varios SRI a partir de un mismo SR de partida. Por ello, se presenta la siguiente construcción:

-H1t2: Construcción gráfica de varios SRI a partir de uno dado (velocidades relativas sucesivas). Esta gráfica será sumamente útil para las actividades relacionadas con la cosmología del Big Bang.

Finalmente, la ficha H1i también presenta un procedimiento puramente cualitativo (basado en la geometría de las figuras utilizadas anteriormente) para obtener valores de “gamma” a partir de  $v$  (y viceversa). Sólo es preciso apretar varias teclas de la calculadora., por lo que el cálculo es más simple que con la fórmula habitual para calcular “gamma” (pero no así la manipulación algebraica, que al usar funciones trigonométricas es más compleja).



## H1a - PROBA DE RETENCIÓN: Enerxías e velocidades

A velocidade das partículas incrementábase co cadrado da enerxía incorporada, dacordo coa coñecida fórmula da Enerxía cinética. O tempo que tardan en percorrer o anel circular é inversamente proporcional á velocidade.

Deste xeito, se levan unha enerxía de 0,01 GeV, terán unha velocidade de 30 km/s e tardarán 1 s en dar unha volta completa.

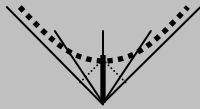
Se incrementamos a enerxía 100 veces, ata 1 GeV, a súa velocidade incrementábase 10000 veces, ou sexa que tardarán  $1/10000 \text{ s} = 0,1 \text{ ms}$ .

A partir de aí, podemos aumentar a enerxía ata 1 TeV (é dicir, nun factor de 1000), sen embargo, o tempo en que tardan en dar a volta practicamente non varía dos 0,1 ms.

a) A que pode ser debido isto?

b) Cómo explicarías a resposta anterior coa axuda dunha gráfica espacio/tempo?

**Explicación de la Ficha**  
**H1a - PRUEBA DE RETENCIÓN: Energías y velocidades**



**Actividad de EVALUACIÓN**

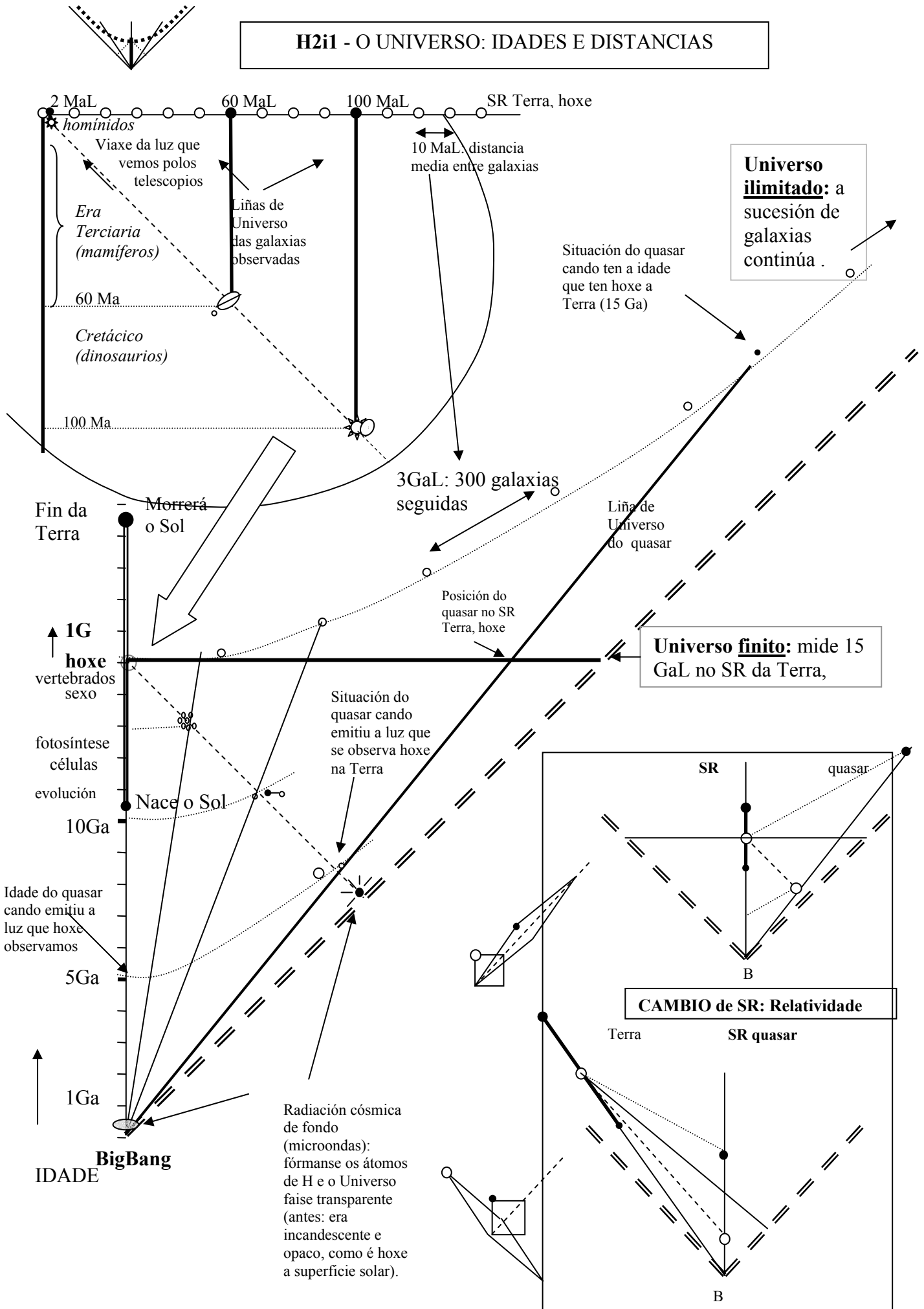
En esta actividad de evaluación se presentan una serie de valores realistas de energías y velocidades en un acelerador de partículas, para que el alumnado pueda responder aplicando el concepto cualitativo-visual de luz como velocidad límite.

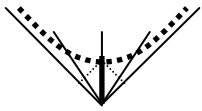
Se incluye como actividad en esta Unidad porque de la misma forma permitiría ser utilizada para aplicar los procedimientos numéricos presentados en la actividad anterior (H1i, H1t):

Por un lado, dando los valores de las energías y solicitando el cálculo de la velocidad en cada caso (es necesario, para ello, indicar el valor de la masa de la partícula y el factor de conversión de la energía de eV a Julios).

Por otro lado, construyendo varias gráficas sucesivas en que se va aumentando la energía cinética en una misma proporción y se comprueba cómo la variación de la velocidad va haciéndose cada vez menor al aproximarnos a la velocidad de la luz.

# H2i1 - O UNIVERSO: IDADES E DISTANCIAS

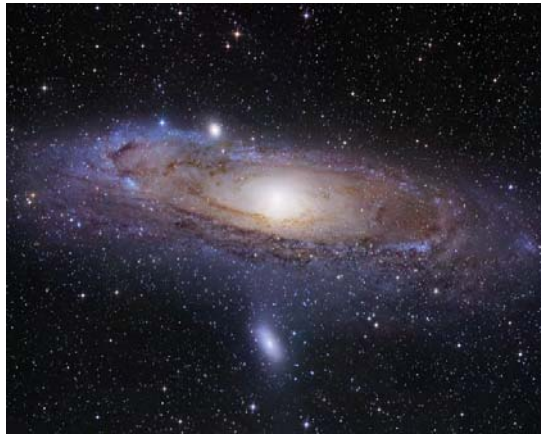




**H2i2 - IMAXES do UNIVERSO a DISTANCIAS CRECENTES**



A nosa Galaxia (visión artística)



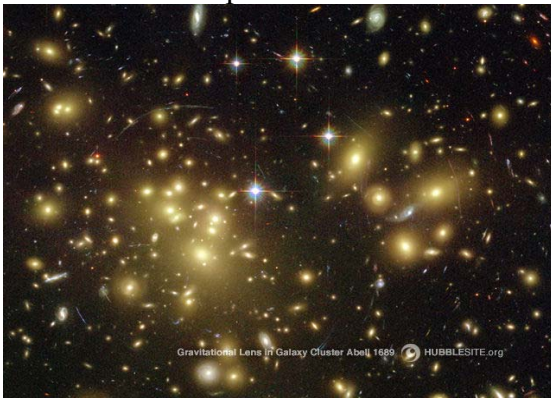
A galaxia veciña (Andrómeda, a 1 MaL)



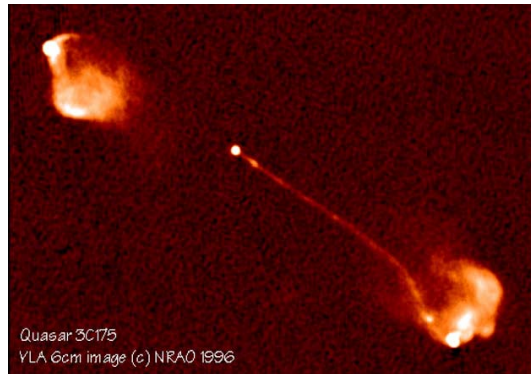
Galaxia con supernova a 60 MaL



Colisión galáctica a 100 MaL



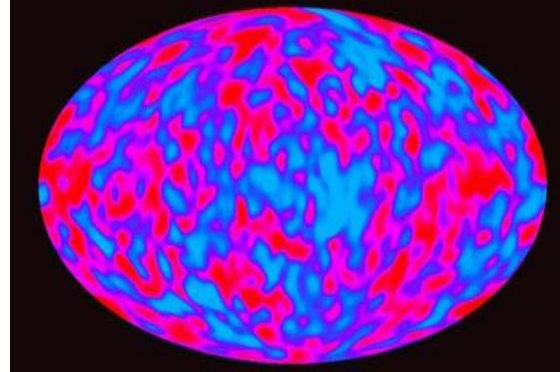
Cumulo Abell de Galaxias a 2 GaL



Quasar emite chorro de protóns a 5 GaL

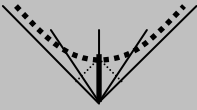


Quasar a 10 GaL  
(idade: 5 Ga)



Radiación cósmica a 14,7 GaL  
(idade: 0,3 Ga). Cando se formaron os átomos e o Universo fíxose transparente

**Explicación de las Fichas**  
**H2i1 - EL UNIVERSO: EDADES Y DISTANCIAS**  
**H2i2 - IMÁGENES del UNIVERSO a DISTANCIAS**



Actividad de ESTRUCTURACIÓN

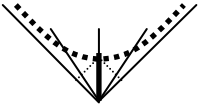
En la ficha H2i2 se presentan una serie de fotografías obtenidas por telescopios explorando el Universo a profundidades cada vez mayores (excepto la primera, que por razones obvias es una visión artística de nuestra propia Galaxia a partir de los datos conocidos). En la ficha H2i1, por su parte, se presenta un marco geométrico en el que las imágenes anteriores se incorporan como piezas de un gigantesco rompecabezas espacio-temporal.

Se recomienda realizar la interpretación de este diagrama arriba a la izquierda: Es una gráfica espacio-tiempo en la que el origen corresponde a “aquí y ahora” (nuestra Galaxia en el momento actual). La escala espacial está en millones de años-luz (Mal), y la temporal en millones de años (Ma), con lo que la luz, como siempre, continúa en la diagonal. Se pueden ver unas figuras correspondientes a las 4 primeras fotos de la ficha H2i2.

Esta gráfica está incluida, a modo de pequeña “burbuja e-t”, en la gráfica central, en la que se presenta la evolución del Universo desde al Big Bang (hace unos 15.000 Ma, es decir, 15 Ga). Igual que antes, en la diagonal de puntos se representan las posiciones en el e-t de las restantes fotografías en el momento en que la luz de las mismas fue emitida.

Para cada objeto, se traza su línea en el e-t, para comprobar cómo la velocidad aumenta con la distancia, de acuerdo a lo observado por Hubble.

Podemos ver que la envolvente de estas líneas traza una curva asintótica con el borde en expansión a la velocidad de la luz. Esta curva es una hipérbola, y ya fue obtenida de forma gráfica en H1t2. Se analiza en detalle la línea del cuasar, la cual se usa en los cuadros inferiores para comprobar que el “borde del Universo” es relativo. Podemos observar que el máximo recorrido temporal posible para la luz en este diagrama es de 7'5 Ga, por lo que a primera vista parece imposible poder ver el origen del Universo en el momento del Big Bang (vértice inferior), aún con los telescopios más potentes.



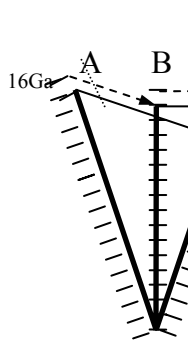
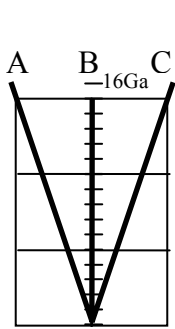
**H2t - CONSTANTE DE HUBBLE e BIG BANG**

Cóñécese polo nome de “Constante de Hubble” a proporción entre a distancia a que se atopan as galaxias e a velocidade coa que retroceden. O seu valor é tal que dúas galaxias separadas entre si por 5000 millóns de anos-Luz (5 GaL), sepáranse cunha velocidade de 100.000 km/s (0’33c).

Un ano-Luz é a distancia percorrida por un raio de luz nun ano, e ven dada pola fórmula  $e = c \cdot t = 300.000 \text{ km/s} \cdot 1 \text{ ano.} = 10^{16} \text{ m}$  (aprox).

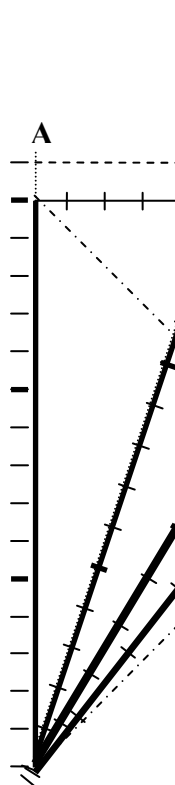
O tempo que lles levou acadar dita separación ven dado polo fórmula  $t = e / v = ct / v = c \cdot 5 \text{ GaL} / 0’33c = 15 \text{ Ga}$ . Polo tanto, hai 15 Ga as dúas galaxias estaban xuntas. Como isto sucede para cada par de galaxias, chégase á conclusión de que hai 15 Ga todas elas estaban nun mesmo punto, o que se denomina Big Bang.

Dacordo coa teoría da relatividade, en calquera das galaxias debe observarse o mesmo fenómeno, polo que en todas partes o instante do Big Bang debe estar situado 15 Ga no pasado.



A figura inferior está feita no SR da galaxia A. O proceso para situar B e C repítese para outra galaxia D. Constrúe ti a liña dunha galaxia E a continuación da D.

As galaxias A e C están a 5 GaL e sepáranse a 0,33c de B. Pola dilatación temporal, os 15Ga de B son 16Ga en A e en C.



Supón que a galaxia A é a nosa Vía Láctea.

Observamos as galaxias B e D por un telescopio, hoxe.

Canto durou a viaxe desa luz?  
Dende B:                      Dende D:

Que idade tiñan esas galaxias cando partiu delas a luz que vemos hoxe?

B:                      D:

Que idade teñen agora mesmo as galaxias C e E no noso SR? C:                      E:

Existe algún límite para o nº de galaxias que caben?

Existirá algunha galaxia cuxa luz non poidamos ver?

Cal é o tamaño do Universo no noso SR?

Pódese dicir que o Universo ten un tamaño limitado?

Cal é a distancia que existe entre cada par de galaxias?

Canto sumarían as distancias AB, BC, CD e DE?

O Universo é finito ou infinito?

Os telescopios máis potentes poden chegar a ver o confin do Universo.

Que estaremos observando nese caso?

Onde está o BigBang?

Pódese chegar a observar?

Por que?

Comentario persoal:

## Explicación de la Ficha H2t - CONSTANTE DE HUBBLE y BIG BANG



### Actividad de APLICACIÓN

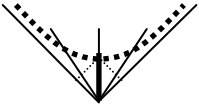
En la actividad H1t2 podíamos construir la figura resultante de aplicar una serie de velocidades relativas crecientes aun mismo SR. La construcción resulta en una gráfica curva correspondiente a una hipérbola equilátera cuyas asíntotas son las diagonales que marcan la velocidad de la luz.

En la siguiente actividad (H2i1) se presentaba la geometría del Big Bang. Podemos ver que la ley de Hubble, al establecer que las galaxias se alujan de nosotros con una velocidad proporcional a su distancia, encaja perfectamente con la construcción anterior si aplicamos una misma transformación de SRI de forma reiterada. Esto es lo que se propone en la actual actividad:, con una velocidad relativa entre cada SRI de  $c/3$ .

Al construir varias de estas transformaciones de SRI sucesiva, vemos aparecer la forma de la mencionada hipérbola equilátera, y podemos comprender que el proceso no va a tener límite, es decir, que siempre vamos a poder incorporar unha galaxia más en dicha serie. Sin embargo, el tamaño del Universo en el momento actual (15 Ga desde el Big Bang) no es infinito, sino que los puntos más alejados se encuentran a 15 GaL de nosotros (puesto que se llevan alejando a la velocidad de la luz desde entonces. Esto explica la paradoja de que un Universo de tamaño limitado pueda contener un número ilimitado de galaxias.

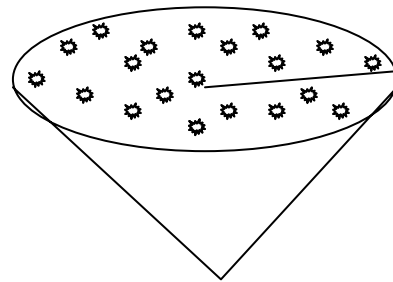
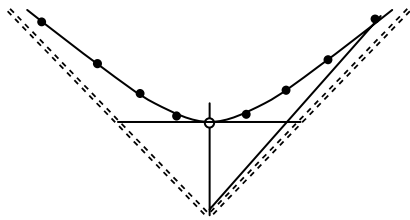
También se podría haber explicado acudiendo ala contracción espacial en los bordes del Universo, que vuelve las galaxias delgadas como hojas de papel.

Del mismo modo, el análisis revela que la dilatación temporal hace posible que los rayos de luz procedentes del borde del Universo lleguen a nosotros desde los mismos orígenes del Big Bang (por ejemplo, el rayo procedente de la galaxia D salió de ella cuando ésta tenía tan sólo 5 Ga de edad, y al construir la línea E como se nos pide podemos ver que la luz que nos llega hoy desde la misma salió de ella cuando tenía menos de 3 Ga de edad, acercándonos de este modo cada vez más al momento de la Gran Explosión). Existe un límite a esta progresión, pues hasta los  $0'3$  Ga de edad el Universo era opaco a la luz. Este límite fue observado por el satélite COBE (última foto de la ficha H2i2)



## H2a - PROBA DE RETENCIÓN: Big Bang e xeometría do Universo

Dacordo coa teoría do Big Bang, no Universo existe un número ilimitado de galaxias que se separan da nosa (a Via Láctea) a velocidades proporcionais á súa distancia de nós. Isto corresponde co que acontecería se se levasen separando dende hai 15 Ga coa mesma velocidade dende un punto común. A teoría determina que as galaxias máis alonxadas estarán actualmente a unha distancia de nós de 15 Gal. A que se debe isto?

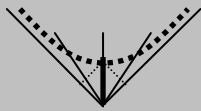


Polo dito anteriormente, o Universo está contido nunha esfera de raio igual a 15 Gal.

a) Como pode ser que esta esfera de tamaño limitado poida conter un número ilimitado de galaxias?

b) Utiliza unha gráfica espazo/tempo para explicar a túa resposta.

Explicación de la Ficha  
**H2a** - PRUEBA DE RETENCIÓN: Big Bang y geometría del  
Universo



Actividad de EVALUACIÓN

En esta actividad se presenta una breve explicación de la teoría del Universo en expansión o Big Bang, la que es aceptada mayoritariamente por la comunidad científica.

Con la ayuda de un par de gráficas, se pide al alumno que dé respuesta a una serie de interrogantes que se le plantean sobre esta teoría:

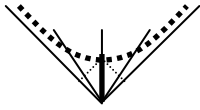
-Cómo podemos decir que el tamaño del Universo es limitado? Este hecho es evidente en la construcción visual realizada, y para explicarlo se pueda acudir a al imposibilidad de que una galaxia se separe de nosotros a velocidades superiores a la de la luz.

-Cómo puede ser que en este Universo de tamaño limitado exista un número ilimitado de galaxias?

Nuevamente la figura da una explicación visual basada en la tendencia asintótica (por lo tanto, de extensión ilimitada) de la línea que conecta todas las galaxias en un mismo instante de su evolución a partir del Big Bang. Por otro lado, también se puede dar una explicación textual acudiendo a la contracción espacial cerca de los “bordes” del Universo.

Conviene recordar las figuras inferiores de la gráfica H2i1 para explicar que esta contracción espacial es relativa, es decir, las galaxias cercanas al borde están contraídas para nosotros, que nos vemos en el centro de un Universo en expansión.

Pero para un observador situado en una de ellas, el Universo se estaría expandiendo a su alrededor de manera uniforme, y nuestra Vía Láctea estaría muy cerca del borde del Universo y sería delgada como una hoja de papel ...



## Ha1 - Ficha sobre o Universo e o Big Bang

Responde razoadamente ás seguintes preguntas:

A que distancia de nós está hoxe o quasar da penúltima foto, no noso SR?

Cal é a súa velocidade relativa respecto de nós?

Cal será o valor do factor “gamma” para o quasar?

Cantas galaxias hai (en liña recta) entre nós e ise quasar?

Se a distancia media entre galaxias é de 10 MaL, canto sumarían as distancias que hai entre as galaxias da resposta anterior?

Cal é o radio do Universo no noso SR?

Compara dun xeito razoado as dúas respostas anteriores:

A que distancia da nosa galaxia estaba o citado quasar cando emitiu a súa luz?

Que idade tiña o Universo (no noso SR) cando ise quasar emitiu a súa luz?

Que idade tiña o Universo (no SR do quasar) cando iste emitiu a luz?

Compara dun xeito razoado as dúas respostas anteriores:

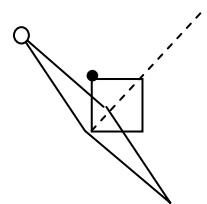
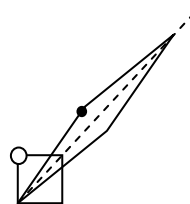
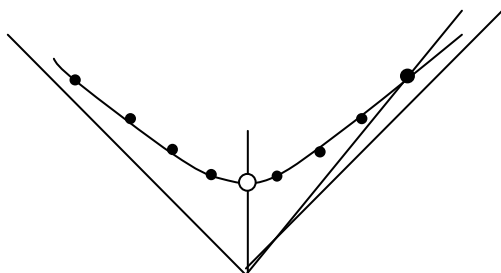
Que tamaño ten o Universo, hoxe, para nós?

Que tamaño tiña o Universo, para nós, cando o quasar emitiu a súa luz?

Que tamaño tiña o Universo, para o quasar, cando emitiu a luz?

Que tamaño tiña o Universo cando se fixo transparente?

Explica o significado destas figuras:



Explicación de la Ficha  
Ha1 - Ficha sobre el Universo e el Big Bang



Actividad de EVALUACIÓN

Esta actividad de evaluación tiene también un fuerte carácter de aplicación, puesto que en ella se nos pide dar respuesta a una serie de interrogantes sobre el Universo en expansión, muchos de ellos de carácter numérico, por lo que deberemos acudir a los procedimientos cuantitativos introducidos en las actividades H1.

Todo el análisis se centra en el caso del cuasar de la penúltima foto en H2i2, uno de los más alejados que se conocen.

Para analizar la situación planteada, conviene acudir a la ficha de la actividad H2i1. En ella, podemos ver que el cuasar está situado sobre la hipérbola asintótica que conecta todos los puntos del Universo que tienen la misma edad (15 Ga), separado de nosotros por una serie de tramos limitados por circulitos blancos. Concretamente, entre nosotros y el cuasar hay cinco tramos y medio. Cada uno de estos tramos indica un salto de SRI correspondiente a una separación "local" de 3 GaL. Dado que la distancia media entre galaxias es de unos 10 MaL a lo largo de todo el Universo, podemos decir que en cada salto se sobrepasan unas 300 galaxias.

Dado que hay 5'5 de tales saltos, si sumamos sus tamaños locales, tendríamos un total de 16'5 GaL, es decir, no cabrían en el Universo, que tiene un radio de 15 GaL. Lo que sucede es que al sumar las distancias locales no tuvimos en cuenta la contracción espacial.

Las restantes preguntas son de carácter más técnico, y se refieren al hecho de que las distancias y las edades de los objetos del Universo varían en función de la posición del observador (en el espacio-tiempo) y del tipo de observación efectuada, siendo posible en cualquier caso calcular sus valores (la Relatividad no es una teoría indeterminada o de resultados imprecisos)



**Rt - RESUMEN VISUAL DA TEORÍA DA RELATIVIDADE (ficha de traballo)**

completa as palabras que faltan (sobre as liñas valeiras)

O tempo

O espazo

aceler

Límite:

INTUICIÓN:

t SR

e

Choque

$m_1 = m_2$

---

O tempo

O espazo

Experiencia de \_\_\_\_\_, teoría de \_\_\_\_\_

Transformación de \_\_\_\_\_

Fórmula de \_\_\_\_\_:

$E = m c^2$

$m_1 m_2 (a E c)$

---

t' t

L' L

Límite:

Equivalencia

(c = 1):

---

Paradoxo dos

Atracción entre

ENERXÍA

$m < m + E c : a E c$

---

da atmosfera

Aceleradores de

FUSIÓN

Núcleos

FISIÓN

Núcleos

---

Nº de Galaxias: UNIVERSO

T 15

r = (finito)

CERN

estrelas

E → m

Super-novas

m → E

Reactores nucleares

---

Creación de

FÍSICA DE

electrón - \_\_\_\_\_

Aniquilación da \_\_\_\_\_

coa \_\_\_\_\_

### Explicación de las Fichas

**Ri** - RESUMEN VISUAL DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD (información)

**Rt** - RESUMEN VISUAL DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD (ficha de trabajo)

### Actividad de ESTRUCTURACIÓN

Estas dos fichas y las siguientes se etiquetan con una letra “R” para indicar que se trata de recapitulaciones o resúmenes de toda la teoría de la Relatividad vista hasta el momento.

La ficha **Ri** constituye una especie de “hoja de ruta “ visual de toda la secuencia didáctica, en la que mediante las gráficas correspondientes se van recapitulando los pasos dados en la construcción de la teoría de la Relatividad y el análisis de sus consecuencias .

La ficha se divide en **tres franjas** separadas por líneas horizontales:

**-Primera franja: Relatividad Clásica** (UD Galileo)

Barra horizontal rayada: Ruptura experimental (Michelson) y teórica (Maxwell).

**-Segunda franja: Relatividad Especial** (UD Lorentz)

**-Tercera franja: Consecuencias físicas** de la Teoría de la Relatividad (UD Einstein y Hubble)

Los contenidos de cada franja se estructuran en **cuatro columnas**, correspondientes a otros tantos efectos relativistas:

**-1ª Columna: Dilatación temporal** (paradoja de los gemelos, muones atmosféricos)

**-2ª Columna: Contracción espacial** (electromagnetismo, leyes de Lorentz y Ampère)

**-3ª Columna: Velocidad límite** (aceleradores de partículas)

**-4ª Columna: Equivalencia entre masa y energía** (energía nuclear, física de partículas)

Se incluye abajo a la izquierda la gráfica del Big Bang porque participa de los contenidos de la tres primeras columnas.

La ficha **Rt** es una especie de “mapa mudo” en el que se pueden ir colocando los términos en blanco para comprobar el nivel de adquisición de la terminología relativista.

## Ra1 - AVALIACIÓN FINAL

Sempre que poidas, usa a parte traseira para facer gráficos ou debuxos explicativos.

1- Describe en poucas palabras a Teoría da Relatividade:

2-Que experiencia levou ao establecemento desta teoría, e por que?

3-Que acontece se 2 reloxos dan a volta á Terra en direccións opostas, e por qué?

Como inflúe a resposta anterior na discusión sobre o solpor permanente?

4-Como explicas que os muóns producidos na alta atmosfera cheguen á superficie da Terra?

5-Como funciona un sincrotrón?

6-Cal é a máxima velocidade á que se poden acelerar as partículas nun sincrotrón?  
Por qué?

7-Pódese transformar enerxía en masa? Pon algún exemplo:

8- Explica a enerxía nuclear de fisión.

9-Explica o funcionamento dun electroimán.

10-Que di a teoría do BigBang, e en que se basea?

## Ra2 - Problemas numéricos sobre Relatividade Especial

(podes facer debuxos explicativos por detrás)

1. Un experimento consiste en facer chocar dous feixes de protóns con velocidades iguais. Determina a velocidade mínima que debe levar cada un para que no choque se produza un par protón-antiprotón.
2. Os muóns son partículas que se poden producir no laboratorio e tamén observar nos raios cósmicos. A vida media dun muón en repouso no laboratorio é de 2 microsegundos. Cál será a vida media dun muón que viaxa a un 99% da velocidade da luz, medida dende a superficie terrestre?
3. Dúas partículas iguais, de 3g de masa en repouso, chocan a unha velocidade de  $0,8c$  e quedan reducidas a unha única masa en repouso,  $M_0$ . Calcula dita masa final.
4. Unha galaxia de forma globular mide 100.000 anos-luz (aL) de diámetro, e afástase de nós cunha velocidade de  $0,99c$ . Canto medirá, e cal será a súa idade no noso SR? (lembra que a idade da nosa galaxia é de 15 Ga).

Explicación de las Fichas  
**Ra1** - AVALIACIÓN FINAL  
**Ra2** - Problemas numéricos sobre Relatividade Especial

Actividad de EVALUACIÓN

Esta actividad constituye un ejemplo de pruebas escritas que se pueden presentar al final de la secuencia didáctica para comprobar el grado de adquisición de los principales conceptos y terminología relativistas.

La ficha **Ra1** contiene una serie de cuestiones abiertas que tratan de los siguientes conceptos:

- Generalidades de la Teoría de la Relatividad (preguntas 1 y 2)
- Dilatación temporal (preguntas 3 y 4)
- Velocidad límite (preguntas 5 y 6)
- Equivalencia entre masa y energía (preguntas 7 y 8)
- Contracción espacial y electromagnetismo (pregunta 9)
- Cosmología del Big Bang (pregunta 10)

La ficha **Ra2** contiene unos problemas numéricos. En todos ellos es preciso efectuar un cálculo del factor relativista “gamma” a partir de la velocidad relativa o viceversa, como se vio en la actividad H1i.

- 1-Creación de materia a partir de energía cinética en una colisión inelástica (cálculo de la velocidad a partir del factor “gamma”)
- 2-Cálculo de la vida media de un muón en movimiento (dilatación temporal, a partir del factor “gamma” dependiente de la velocidad)
- 3- Conversión de energía cinética en masa en una colisión inelástica. Cálculo de la masa final (factor “gamma” a partir de las velocidades)
- 4-Cálculo del tamaño y edad de una galaxia a partir de la velocidad relativa (cálculo del factor “gamma” y aplicación a la dilatación temporal y la contracción espacial)

### Ra3 - Comentarios sobre Relatividade

Escribe a túa opinión razoada sobre as seguintes afirmacións:

1-A teoría da Relatividade aplícase cando hai velocidades enormes (cercasas á da luz), mais non afecta á vida normal das persoas.

2-Se a teoría da Relatividade non fose certa, non habería motores nin xeneradores eléctricos, non habería telefonía móvil nin electrodomésticos. Tampouco habería enerxía nuclear, e polo tanto o Sol non alumearía.

3-Os fenómenos relativistas son ilusións debidas ao movemento, mais na realidade hai un único espacio (non coexisten espacios diversos no Universo), e o tempo pasa do mesmo xeito en todas partes e para tódolos observadores.

4-Se a materia se poidese desintegrar producindo luz, entón tamén se podería crear materia a partir da luz, e eso non é posible.

5-Masa e enerxía non son iguais, porque a enerxía non se crea nin destrúe, senón que só se transforma, mentras que a masa pódese destruír (por exemplo, nunha combustión).

## Ra4 - AVALIACIÓN DE METODOLOXÍA E ACTITUDES

As seguintes preguntas refírense ás túas impresións e sensacións durante as actividades realizadas para entender a Teoría da Relatividade.

1: Pensas que a información recibida foi útil (ou pode selo no futuro)?  
Por qué?

2: Cales das actividades foron máis interesantes, e por qué?

3: Con que actividades aprendiches máis sobre a Teoría da relatividade?

4: A maioría da xente pensa que a Relatividade é algo complicado, que só lle interesa aos científicos. Que opinas ao respecto?

5: O papel do profesor foi o habitual nestas clases, ou mudou algo (o qué)?

6: Pensas que os debates realizados serven para aprender mellor (e por qué)?

7: A Relatividade foi presentada dunha forma gráfica, case sen fórmulas. Pensas que así se aprende mellor (e por qué)?

8: Gustaríache seguir aprendendo máis sobre a Teoría da Relatividade (e por qué)?

9: Como valoras o feito de que a Relatividade rompa co sentido común das persoas?

10: Que sintes agora que rematou a Unidade Didáctica?

**Explicación de las Fichas**  
**Ra3 - Comentarios sobre Relatividad**  
**Ra4 - EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA Y ACTITUDES**

Actividad de EVALUACIÓN

Estas fichas complementan la evaluación conceptual de las anteriores, centrándose más en aspectos actitudinales y de la metodología didáctica. Puede complementarse mediante la propuesta de realizar una redacción sobre alguno de los siguientes temas:

*Fai unha redacción dunha páxina como máximo (deixa a outra cara para facer gráficos, se o precisas) sobre a Teoría da Relatividade. Podes desenvolver calquera destes títulos, ou outro que se che ocorra en relación co tema:*

- A importancia da Relatividade para as nosas vidas.*
- Aspectos sorprendentes da Relatividade.*
- Relatividade e Ciencia Ficción*
- Viaxe a un burato negro*
- O repouso tamén é relativo?*
- A viaxe do meu irmán xemelgo*
- A decepción de Michelson*
- Unha visita ao CERN*
- Como funcionan os motores eléctricos*
- Hubble e o Big Bang*
- Un Universo asombroso.*
- Unha velocidade inalcanzable*
- Creación e destrución da materia*
- O forno onde se cociñan os átomos*
- Se a luz tivera a velocidade do son.*
- Se a luz viaxase a 30 km/h*
- Ollar o ceo é viaxar ao pasado*
- Conversa entre científicos*  
*(Galileo, Michelson, Lorentz, Einstein ou Hubble)*