



**Escola Politécnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TREBALL FINAL DE GRAU

**TÍTOL: EXPERIMENTS AMB LASERS.**

**PODEN EXISTIR LES ESPASES LASER DE LA SAGA DE STAR WARS?**

**AUTORS: BONSONS GANDIA, MARC**

**DATA DE PRESENTACIÓ: 7 de Febrer, 2018**

**COGNOMS: BONSOMS GANDIA**

**NOM: MARC**

**TITULACIÓ:**

**GRAU EN ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I AUTOMÀTICA**

**PLA: 2014/2015**

**DIRECTOR: MANUEL MORENO LUPIAÑEZ**

**DEPARTAMENT: FISICA I ENGINYERIA NUCLEAR**

**QUALIFICACIÓ DEL TFG**

**TRIBUNAL**

**PRESIDENT**

**Javier Navarro  
Bosque**

**SECRETARI**

**Oriol Gargallo  
Vicente**

**VOCAL**

**Joaquin Del Rio  
Fernandez**

**DATA DE LECTURA: 7 de Febrer, 2018**

**Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals:  Sí  No**

## RESUM

Aquest treball té com objectiu explicar, sense aprofundir en la seva totalitat física i teòrica, el làser de forma conceptual, les seves principals aplicacions i els tipus que existeixen per poder preparar i realitzar una sèrie d'experiments amb làsers de caràcter educatiu per alumnes en l'etapa final de primària, secundària, universitaris o qualsevol persona interessada en el tema.

En total s'han preparat deu experiments amb els quals s'estudien diferents propietats dels làsers, com ara la difracció, la reflexió i refracció, les interferències, la mono cromaticitat, la coherència o la direccionalitat.

Per altra banda s'analitzaran les pel·lícules de la saga de *Star Wars* per veure quin ús fan del làser i quines propietats té segons aquest univers, que ja avancem que no té res a veure amb el làser a la vida real. A partir d'aquests anàlisis les conclusions que s'esperen obtenir és veure si les espases làser d'aquesta saga poden existir a la vida real.

La idea de làser que ens mostren a les pel·lícules està molt allunyada de la realitat. El primer error que es veu a simple vista és que les espases làser són completament visibles, amb forma i estan limitades, quan realment del làser només podem veure el punt des del que es projecta i el punt on es reflecteix sempre i quan tingui una potència inferior als 1000mW, a partir d'aquesta potència és possible veure el feix de llum degut a les col·lisions del feix amb les molècules d'aire presents a l'atmosfera.

### Paraules clau (màxim 10):

Ciència-ficció	Difracció de la llum	Espases làser	Experiments amb làsers
Interferències	Làser	Ones electromagnètiques	Reflexió de la llum
Star Wars			

# Índex

Agraïments.....	6
Organització del projecte.....	6
Capítol 1. Introducció .....	7
1.1. Objectius.....	7
Capítol 2. El làser.....	8
2.1. Què és el làser?.....	8
2.2. Emissió espontània vs emissió induïda.....	9
2.3. Inversió de població .....	10
2.4. Classificació dels làsers. UNE EN 60825-1/A2-2002 .....	10
2.5. Tipus de làsers .....	11
2.6. Aplicacions.....	13
Capítol 3. Experiments amb làsers.....	14
Experiment nº 1 .....	15
Experiment nº 2 .....	16
Experiment nº 3 .....	17
Experiment nº 4 [7] .....	18
Experiment nº 5 .....	20
Experiment nº 6 [8] .....	22
Experiment nº 7 [9] .....	24
Experiment nº 8 [10] .....	26
Experiment nº 9 [11] .....	27
Experiment nº 10 .....	29
Comentari final.....	30
Capítol 4. El làser a la ficció .....	31
Capítol 5. El làser a la saga de <i>Star Wars</i> .....	33
5.1. Anàlisi d'escenes de les pel·lícules .....	34
5.1.1. Enfrontaments amb Espases Làser .....	34
5.1.2. Errors .....	41
5.1.3. Batalles espacials.....	42
5.1.4. Errors .....	42
5.1.5. Pistoles, rifles i canons làser .....	43
5.1.6. Errors .....	44
5.2. Característiques del làser a <i>Star Wars</i> .....	45
Capítol 6. Espases làser. Realitat o ficció?.....	47
Capítol 7. Conclusions .....	48
7.1. Sobre el làser.....	48
7.2. Sobre els experiments .....	48
7.3. Sobre <i>Star Wars</i> .....	48
Llistat de figures .....	50

Bibliografia .....	52
Filmografia .....	54

## **Agraïments**

Voldria agrair al professor Manel Moreno l'atenció i la guia durant tot el projecte però sobretot per la proposta del tema ja que no en tenia cap en ment i al veure-la em va fer molta il·lusió participar-hi. També voldria agrair als meus amics que m'han acompanyat en el procés de tornar a visualitzar (no sé quants cops van ja) les pel·lícules de *Star Wars* per poder analitzar-les.

## **Organització del projecte**

El projecte està dividit en set capítols:

**Capítol 1. Introducció.** Es presenten els objectius que es volen tractar.

**Capítol 2. El làser.** Es fa un resum del què és el làser, la seva història, quines propietats té i en quines aplicacions es fa servir.

**Capítol 3. Experiments amb làsers.** En aquest apartat trobem les fitxes de deu experiments realitzats amb làsers que estudien les seves propietats.

**Capítol 4. El làser a la ficció.** Un recull de diferents pel·lícules de ciència-ficció on apareixen làsers.

**Capítol 5. El làser a la saga de Star Wars.** Estudi del concepte de làser que es mostra a la saga de pel·lícules de *Star Wars* i comparació amb el làser a la realitat.

**Capítol 6. Espases làser. Realitat o ficció?** A partir de l'estudi realitzat al capítol anterior veurem si les espases làser poden existir a la realitat.

**Capítol 7. Conclusions.** Conclusions generals de tot el que s'ha tractat al projecte.

## Capítol 1. Introducció

### 1.1. Objectius

Aquest projecte té tres objectius bàsics a desenvolupar

1er. Explicar el concepte de làser. Una breu explicació sobre què és el làser, la seva història i les seves aplicacions. L'objectiu principal del treball no és saber teòricament com és un làser si no saber els conceptes bàsics per a poder-lo utilitzar i realitzar experiments didàctics que posin de manifest les seves propietats (interferències, difracció, reflexió i refracció, mono cromaticitat, la coherència o la direccionalitat).

2on. Preparar una sèrie d'experiments amb làsers dels quals es redactarà un guió i una explicació de cadascun que permetrà a alumnes de l'etapa final de primària, secundària, universitaris o qualsevol persona interessada en el tema, realitzar-los de forma senzilla. Són experiments de caràcter educatiu, des de senzills que es poden realitzar amb objectes quotidians fins a més elaborats per a diferents aplicacions.

3er. Analitzar el concepte de làser que ens han mostrat les pel·lícules de ciència-ficció i comparar-lo amb el concepte de làser real. Amb aquestes comparacions es tracta d'enfocar els resultats obtinguts a la saga de *Star Wars* i estudiar si és possible l'existència en un futur de les espases i armes làser que apareixen a les pel·lícules.

## Capítol 2. El làser

### 2.1. Què és el làser?

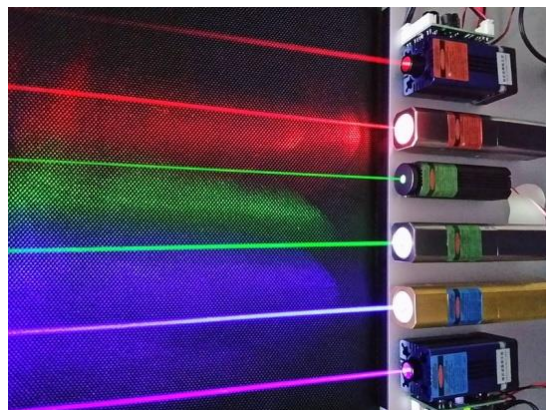
La paraula làser prové de les inicials de l'anglès ***L**ight **A**mplified by **S**timulated **E**mission of **R**adiation*. És bàsicament una font de llum i el que la diferencia de la resta de fonts de llum és la forma en que es produeix l'emissió de la llum. (adaptat de [1])

Mentre que les fonts de llum més quotidianes, com per exemple una bombeta, fan ús de l'emissió espontània, el làser utilitza un efecte de la mecànica quàntica conegut com emissió induïda o estimulada per generar un feix de llum coherent tant espacial com temporal.

El 1917, Albert Einstein va establir els fonaments teòrics del làser i el màser (un aparell similar al làser però per produir microones en comptes de llum visible), el 1926 va derivar les equacions bàsiques per als processos d'interacció radiació-matèria (absorció, emissió estimulada i emissió espontània).

El 1953, Charles Hard Townes i els estudiants P. Gordon i J. Zeiger van produir el primer màser però aquest no podia emetre radiació de forma permanent. Al mateix temps, Nikolai Bàssov i Aleksandr Mikhàilovitx Prókhorov van solucionar els problemes de l'emissió contínua i van crear un estat d'inversió de població permanent. A raó d'aquests descobriments, Bàssov, Prókhorov i Townes van guanyar el Premi Nobel de física el 1964.

El primer làser funcional va ser creat per Theodore H. Maiman el 1960 al laboratori Hughes de Malibú, Califòrnia. Era un làser de rubí i des de llavors ha tingut un desenvolupament extraordinari. Actualment el làser s'ha introduït en moltes aplicacions, des de lectors de CD, de codis de barres, experiments de recerca en física, en la medicina i en molts altres àmbits.

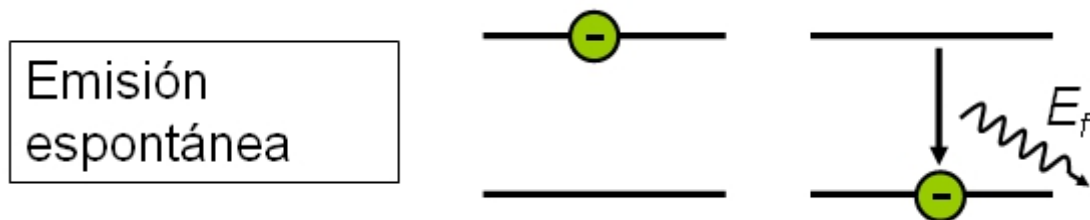


**Figura 2.1.** Làsers de diferents colors. Font: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/LASER.jpg>



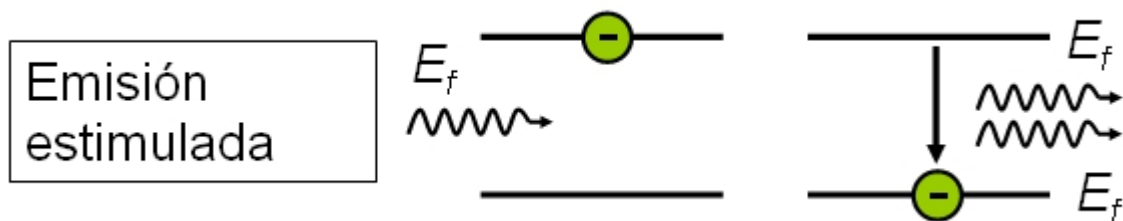
## 2.2. Emissió espontània vs emissió induïda

L'emissió espontània es dona quan un àtom, una molècula o nucli, en un estat d'excitació, passa d'un estat d'energia elevat a un més baix. El resultat d'aquesta caiguda, tenint en compte que es compleix el principi de conservació de l'energia, és un fotó, partícula responsable de portar totes les formes de radiació electromagnètica, inclosos els rajos gamma, rajos X, la llum ultra violeta, la llum visible, infraroja, microones i ones de ràdio. Per tant, a grans trets, portadora de la "llum" tal i com la coneixem. (adaptat de [2])



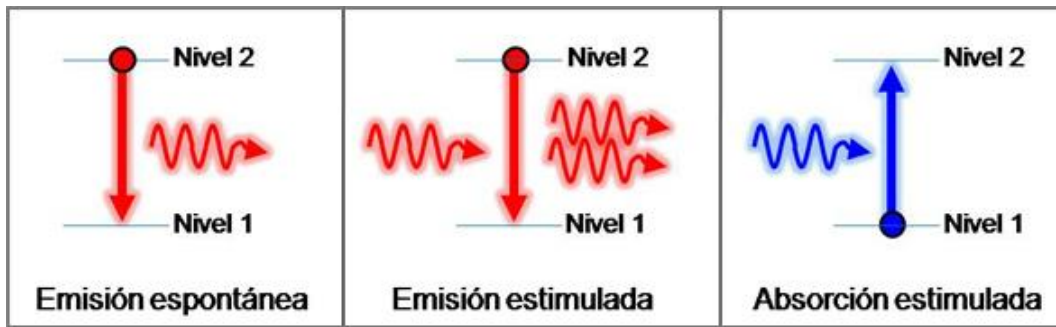
**Figura 2.2.** *Emissió Espontània.* Font: [https://thetuzaro.files.wordpress.com/2012/03/figura-3\\_1.jpg](https://thetuzaro.files.wordpress.com/2012/03/figura-3_1.jpg)

L'emissió induïda o estimulada es produeix quan un fotó estimula la caiguda d'un àtom excitat a un nivell inferior d'energia. Si el fotó té una energia igual a la diferència entre els dos nivells, provoca que s'emeti un segon fotó idèntic al primer que farà que s'amplifiqui la llum. Aquesta amplificació crea un feix de llum coherent, és a dir, un feix que manté una relació de fase constant.



**Figura 2.3.** *Emissió Estimulada.* Font: [https://thetuzaro.files.wordpress.com/2012/03/figura-3\\_1.jpg](https://thetuzaro.files.wordpress.com/2012/03/figura-3_1.jpg)

Tot i així, per aconseguir amplificar la llum és necessari que en el medi on es produeix el fotó hi hagi més àtoms al nivell superior d'energia que a l'inferior, és el fet conegut com *inversió de població*. Si hi hagués més electrons al nivell inferior es produiria l'efecte d'absorció estimulada, és a dir, el medi esmorteiria la llum en comptes d'amplificar-la.



**Figura 2.4.** *Emisió Espontània vs Emisió Estimulada vs Absorció Estimulada.*  
 Font: <https://www.ccpu.es/sites/default/files/emisiones.jpg>

### 2.3. Inversió de població

La inversió de població és el fet que dona peu als làsers. Mitjançant materials amb nivells d'energia en els quals els àtoms triguen en desexcitar-se, s'aconsegueix acumular els electrons en el nivell d'energia superior, aquest procés de subministrar energia al medi actiu s'anomena bombeig. S'utilitza un medi amb miralls, un totalment reflector i l'altre deixa passar certa quantitat de llum que és la que surt del làser i es pot utilitzar. D'aquesta manera s'excita un àtom amb un fotó, aquest crea un altre fotó que excita un altre àtom i així successivament fent que el feix cada cop sigui més gran gràcies a l'emissió estimulada. Jugant hàbilment amb la distància entre els miralls i la seva reflectivitat s'aconsegueix l'equilibri entre l'amplificació del feix i la pèrdua d'energia a través del mirall.

### 2.4. Classificació dels làsers. UNE EN 60825-1/A2-2002

Els làsers es classifiquen segons el seu nivell de perillositat i segons el límit d'emissió accessible. [3]

- **Classe 1:** Productes làser segurs en condicions d'ús raonable incloent l'ús d'instruments d'òptica en visió directa.
- **Classe 1M:** Làsers d'entre 302,5 i 4000nm que són segurs en condicions raonables però que poden ser perillosos si s'utilitzen amb instruments d'òptica en visió directa.
- **Classe 2:** Làsers visibles amb una longitud d'ona d'entre 400 i 700nm. La pròpia resposta ocular (reflex palpebral) ja aporta protecció als ulls fins i tot amb l'ús d'instruments d'òptica.
- **Classe 2M:** Làsers visibles amb una longitud d'ona d'entre 400 i 700nm. Tot i que el reflex palpebral proporcioni la protecció adequada, són perillosos amb l'ús d'instruments d'òptica.
- **Classe 3R:** Làsers amb una longitud d'ona d'entre 302,5 i 106nm la visió directa de la llum dels quals és perillosa però amb un risc inferior als de classe 3B.

- **Classe 3B:** Làsers la visió directa de la llum dels quals comporta sempre un risc per a la vista.
- **Classe 4:** Làsers que poden produir reflexos difusos i causar danys sobre la pell. També poden suposar un perill d'incendi. El seu ús requereix extrema precaució.

## 2.5. Tipus de làsers

Avui en dia existeix una gran diversitat de tipus de làsers, que es classifiquen bàsicament segons el tipus de medi actiu utilitzat. [4]

Segons el medi actiu les ones tenen diferents longitud, amplada, potència, graus de mono cromaticitat, entre d'altres característiques.

Els principals són:

**Làsers de gas:** Són molt habituals en espectacles o discoteques. El medi actiu és un gas.

- *Làser d'heli-neó* (543nm i 633nm)
- *Làser d'argó* (458nm, 488nm o 514,5nm)
- *Làser de CO<sub>2</sub>* (9,6µm i 10,6µm) fins a 100kW, utilitzat en soldadura i metal·lúrgia
- *Làser TEA* (llum ultraviolada 337,1nm)
- *Làser de nitrogen*
- *Làser de monòxid de carboni* fins a 500KW, necessiten refrigeració

**Làsers químics:** El medi actiu es bomba amb l'energia obtinguda de reaccions químiques.

- *Làser de iodur d'oxigen* (1315nm)
- *Làser de fluorur d'hidrogen* (2700 – 2900nm)
- *Làser de fluorur de deuteri* (3800nm)

**Làsers d'estat sòlid:** El medi és un sòlid, el primer làser construït era d'aquest tipus.

- *Làser YAG dopat amb neodimi o Nd:YAG* (1094nm, es pot doblar en freqüència per donar 532nm)

- *Làser dopat amb iterbi, com Yb:YAG, Yb:KGW, Yb:KYW, Yb:SYS, Yb:BOYS o Yb:CaF<sub>2</sub> (al voltant de 1.020-1.050nm) el Yb:YAG pot assolir altes potències en polsos ultracurts*
- *Làser YAG dopat amb erbi (1.645nm i 2.940nm)*
- *Làser YAG dopat amb tuli (2.015nm)*
- *Làser YAG dopat amb holmi (2.097nm) molt usat en medicina*
- *Làser de safir dopat amb titani o làser de Ti:safir, molt sintonitzable i usat espectroscòpia*
- *Làser de fibra dopat amb erbi, a partir de fibres òptiques i usat en telecomunicacions*

**Làsers semiconductors:** Són els làsers més abundants. Utilitzen les transicions electròniques en un díode semiconductor i es fan servir en els lectors de CD, DVD, codis de barres, etc.

- *Díodes làser (entre 375nm i 1550nm)*
- *Làsers de cavitat externa*
- *VCSEL o làser d'emissió vertical (encara es troba en fase experimental)*
- *VECSEL, VCSEL de cavitat externa*
- *Làsers de cascada quàntica*

**Làsers d'excímers:** Làsers de gas que utilitzen molècules en estats excitats: F<sub>2</sub> (157nm), ArF (193nm), KrCl (222nm), KrF (248nm), XeCl (308nm) i XeF (351nm).

**Làsers de colorants:** Utilitzen un colorant orgànic com a medi actiu, molt sintonitzables.

**Làser d'electrons lliures (FEL):** Utilitzen la radiació de frenada (*bremsstrahlung*) dels electrons confinats en camps magnètics.

## 2.6. Aplicacions

Actualment els làsers són omnipresents i es troben presents en milers d'aplicacions, en camps tant variats com l'electrònica del consum, la tecnologia de la informació, la investigació científica, la medicina, la indústria i en armament. [5] [6]

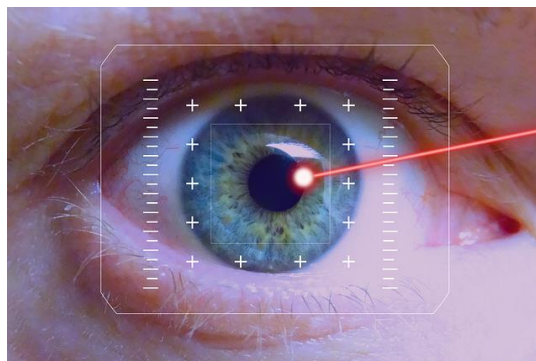
En processos de fabricació el làser s'utilitza per marcar metalls, vidres o plàstics degut a la seva capacitat d'assolir intensitats molt elevades que fan que un làser de baixa o mitjana potència pugui tallar, cremar o fins i tot sublimar materials.



**Figura 2.5.** Tallar metall amb làser. Font: <http://www.provimetal.cl/images/corte-laser-menu.jpg>

Moltes aplicacions aprofiten les propietats físiques dels làsers, com la coherència o la seva capacitat d'assolir potències molt elevades que fan que quan un feix d'un làser s'enfoqui a un punt, aquest rep una enorme quantitat d'energia. Aquesta propietat permet gravar gigabytes d'informació en cavitats microscòpiques com d'un CD, DVD o Blu-Ray.

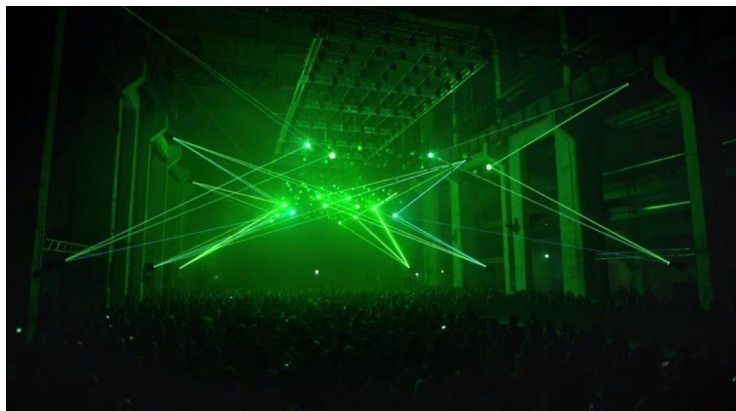
També s'utilitzen en medicina per a operacions sense sang, tractaments quirúrgics, cicatrització de ferides, operacions de la vista o odontològiques.



**Figura 2.6.** Cirurgia làser. Font: <http://www.clinicacoro.es/wp-content/uploads/2015/09/l%C3%A1ser1.jpg>

El trobem també en telecomunicacions per fibra òptica o transmissió de dades entre satèl·lits i en mesura de velocitats. En enginyeria civil com per exemple guiat de màquines tuneladores, mesures de distàncies a llocs inaccessibles.

Desenvolupament de productes comercials, com ara impressores làser, lectors de codis de barres, termòmetres, il·luminació en espectacles, tractaments de cosmètica i cirurgia estètica, etc.



**Figura 2.7.** *Espectacle amb làsers.* Font: <http://pdm.com.co/BlogPDM/wp-content/uploads/2016/11/Deep-Web-1038x576.jpg?x81790>

### **Capítol 3. Experiments amb làsers**

En aquest apartat trobem el bloc principal d'aquest projecte: un recull de fitxes d'experiments amb làsers de caràcter educatiu destinats a explicar de forma senzilla el concepte del làser, introduir els alumnes tant de primària, secundària, estudis posteriors i qualsevol persona sense coneixements físics previs que estigui interessada en el tema, a la física del làser.

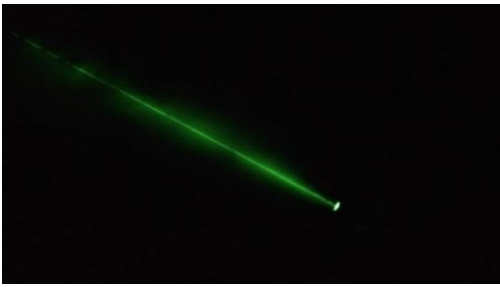


Tots els experiments que es presenten a continuació han estat provats prèviament i per tant estan documentats amb experiència pròpia. A les fitxes trobem el títol de l'experiment, els objectius que es pretenen assolir, l'explicació física de l'experiment, el nivell de dificultat (experimental i conceptual), els materials necessaris (tots són materials quotidians i barats a l'abast de tothom), els resultats que s'esperen obtenir, les precaucions que s'han de tenir al realitzar-lo i preguntes sobre l'experiment per saber si s'han adquirit els coneixements que s'espera transmetre.

Aquestes fitxes estan complementades amb imatges que exposen de forma més clara com es realitza l'experiment.

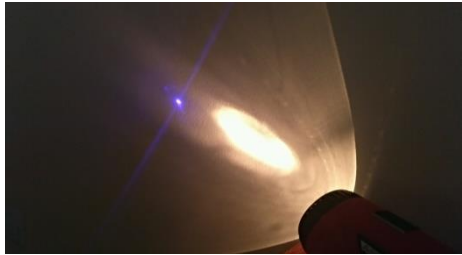


Cal aclarir que no es requereix cap coneixement previ de física per poder realitzar els experiments, són totalment assequibles per tothom.

Les figures que apareixen a cada descripció de l'experiment són pròpies de l'autor, excepte on s'indica el contrari.

## Experiment nº 1

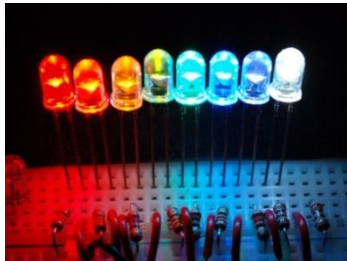
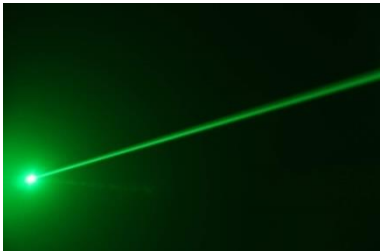


<b>Títol</b>	<b>VEURE EL LÀSER</b>
<b>Objectius</b>	El primer experiment és merament introductori. L'objectiu es poder veure el feix de llum que projecta el làser.
<b>Explicació física</b>	El làser és una font de llum emesa a un punt en concret i, per tant, si el làser és inferior a 1W de potència només podem veure el punt des de on s'ha emès i el punt reflectit. És per això que, si volem veure el feix de llum, necessitem disposar d'un medi en el qual farem passar el làser i ens permeti veure la llum.
<b>Nivell de dificultat</b>	Experimentalment – Fàcil Conceptualment – Fàcil
<b>Material necessari</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Làser de baixa potència (inferior als 1000mW)</li><li>- Necessitem un medi on pugui veure's reflectit el feix de llum. Podem utilitzar el fum, un ambient amb pols o fins i tot el propi baf.</li></ul>
<b>Metodologia</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Disposar del medi que volem utilitzar</li><li>2. Engegar el làser i fer-lo passar a través d'aquest medi</li><li>3. Es veu el feix de llum del làser?</li><li>4. Proveu amb diferents colors i potències de làser, quins colors es veuen millor?</li></ol>
<b>Resultats</b>	<p>Els resultats que s'esperen aconseguir són simplement veure la llum del làser, volem demostrar que la llum del làser a ple dia no és visible a l'aire "net", a partir de 1W sí que és possible veure el feix degut a les col·lisions del feix amb les molècules d'aire presents a l'atmosfera.</p>  <p><b>Imatge 1.</b> Feix d'un làser visible amb el baf</p>
<b>Precaucions</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sota cap circumstància enfocar el làser, o el seu reflex, als ulls.</li><li>- Posar-se ulleres protectores si es requereixen (dependent de la potència del làser).</li></ul>  

## Experiment nº 2

<b>Títol</b>	<b>DIFERENCIA ENTRE LA LLUM BLANCA D'UNA LLANTERNA I LA LLUM D'UN LÀSER</b>
<b>Objectius</b>	Veure la diferència entre la llum d'una llanterna i la llum del làser.
<b>Explicació física</b>	<p>Amb aquest experiment podem veure la diferència entre l'emissió espontània i l'emissió estimulada.</p> <p>L'emissió espontània es dona quan un àtom, una molècula o nucli, en un estat d'excitació, passa d'un estat d'energia elevat a un més baix. El resultat d'aquesta caiguda, tenint en compte que es compleix el principi de conservació de l'energia, és un fotó, aquesta emissió és la que presenta la llum natural.</p> <p>L'emissió induïda o estimulada es produeix quan un fotó estimula la caiguda d'un àtom excitat a un nivell inferior d'energia. Si el fotó té una energia igual a la diferència entre els dos nivells, provoca que s'emeti un segon fotó idèntic al primer que farà que s'amplifiqui la llum. És l'emissió que dona peu als làsers.</p>
<b>Nivell de dificultat</b>	Experimentalment – Fàcil Conceptualment – Fàcil
<b>Material necessari</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Làser de baixa potència (es pot utilitzar qualsevol, però per aquest experiment no és necessari un làser de més de 100mW)</li><li>- Llanterna</li></ul>
<b>Metodologia</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Estar dins d'una habitació o sala</li><li>2. Apagar els llums</li><li>3. Engregar la llanterna i el làser. Quines diferències s'observen entre les dues fonts de llum?</li></ol>
<b>Resultats</b>	 <p><b>Imatge 1. Llanterna vs làser</b></p>
<b>Precaucions</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sota cap circumstància enfocar el làser, o el seu reflex, als ulls.</li><li>- Posar-se ulleres protectores si es requereixen (depenent de la potència del làser).</li></ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"></div>





## Experiment nº 3

<b>Títol</b>	<b>DIFERENCIA ENTRE LA LLUM D'UN LED I LA LLUM D'UN LÀSER</b>
<b>Objectius</b>	Veure la diferència entre la llum d'un LED i la llum del làser.
<b>Explicació física</b>	Amb aquest experiment podem veure la diferència l'emissió estimulada del làser i la llum del LED, que està produïda pel material semiconductor del qual està fabricat. El LED és un díode d'unió p-n fabricat d'un material semiconductor amb dos terminals. Quan s'aplica una tensió adequada als terminals, els electrons es combinen amb els espais de la regió de la unió p-n i s'allibera energia en forma de fotons.
<b>Nivell de dificultat</b>	Experimentalment – Fàcil Conceptualment – Fàcil
<b>Material necessari</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Làser de baixa potència (es pot utilitzar qualsevol, però per aquest experiment no és necessari un làser de més de 100mW)</li><li>- LED (La majoria dels aparells i electrodomèstics que tenim per casa disposen d'un LED mínim, des de l'ordinador, el router, la rentadora, la televisió...). També existeixen llanternes o punters LED.</li></ul>
<b>Metodologia</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Estar dins d'una habitació o sala</li><li>2. Apagar els llums</li><li>3. Triar un aparell que porti un LED o utilitzar una llanterna LED si es disposa d'una, engegar el làser i enfocar-lo junt amb el LED. Quines diferències s'observen entre les dues fonts de llum?</li></ol>
<b>Resultats</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"><div style="text-align: center;"><p><b>Imatge 1.</b> LEDs de diferents colors. Font: <a href="https://s3.amazonaws.com/learn-production/guides/images/000/000/206/medium800/LEDrainbow.jpg">https://s3.amazonaws.com/learn-production/guides/images/000/000/206/medium800/LEDrainbow.jpg</a></p></div><div style="text-align: center;"><p><b>Imatge 2.</b> Feix d'un làser. Font: <a href="http://www.todiamtools.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/05/laser.jpg">http://www.todiamtools.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/05/laser.jpg</a></p></div></div>
<b>Precaucions</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sota cap circumstància enfocar el làser, o el seu reflex, als ulls.</li><li>- Posar-se ulleres protectores si es requereixen (depenent de la potència del làser).</li></ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"></div>

## Experiment nº 4 [7]

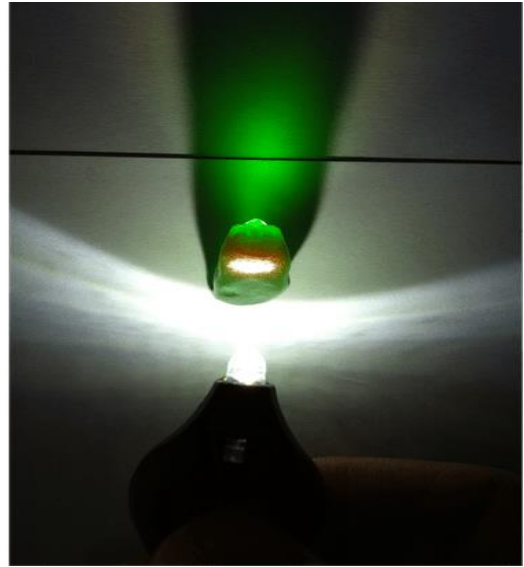
<b>Títol</b>	<b>LÀSERS I LLAMINADURES</b>
<b>Objectius</b>	Entendre els conceptes d'absorció, transmissió i reflexió de la llum mitjançant una cosa tant senzilla com unes llaunadures.
<b>Explicació física</b>	Molts tendim a oblidar que el color és una propietat de la matèria. Quan la llum blanca passa a través d'un objecte el color que veiem depèn del propi objecte. Quan veiem un objecte de color verd, per exemple, el que realment passa és que l'objecte, depenent del material que està fabricat té la propietat d'absorbir totes les longituds d'ona provinents de la llum i només la longitud d'ona produïda pel corresponent al color verd es veu reflectida, per tant veiem l'objecte de color verd. Resulta que les llaunadures són ideals per demostrar aquest concepte i amb aquest experiment ho veurem.
<b>Nivell de dificultat</b>	Experimentalment – Fàcil Conceptualment – Fàcil
<b>Material necessari</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Làsers de baixa potència (no és necessari que sigui major de 100mW) de diferents colors (verd, vermell, blau...)</li><li>- Llaunadures clares (ossets sense sucre, cucs, cireres, piruletes...)</li><li>- Llanterna o qualsevol font de llum blanca (petita, un LED blanc qualsevol)</li></ul>
<b>Metodologia</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Disposar les llaunadures sobre una superfície plana</li><li>2. Enfocar la llanterna o LED blanc a les llaunadures. Què es pot apreciar?</li><li>3. Enfocar el làser a les llaunadures del mateix color que el làser. Què es pot apreciar? Passa el mateix que amb la llum blanca?</li><li>4. Enfocar el làser a les llaunadures de diferent color que el làser. Què es pot apreciar? Quina diferència hi ha respecte el pas anterior?</li></ol>
<b>Resultats</b>	Els resultats que s'esperen aconseguir són els mostrats a les figures de l'apartat <i>Imatges</i> de la plana següent.
<b>Precaucions</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sota cap circumstància enfocar el làser, o el seu reflex, als ulls.</li><li>- Posar-se ulleres protectores si es requereixen (depenent de la potència del làser).</li></ul>



## IMATGES – EXPERIÈNCIA 4



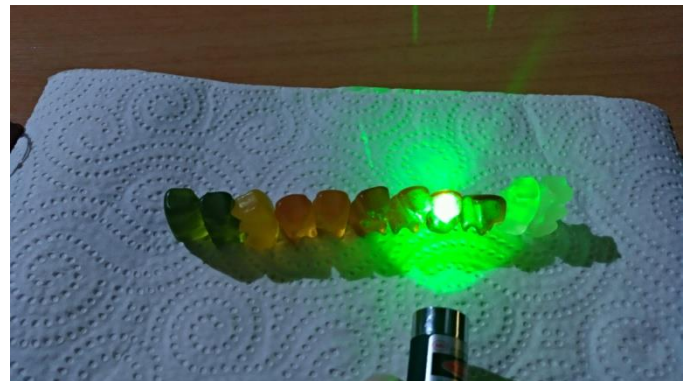
**Imatge 1.** *Llum blanca contra osset vermell.* Font: <http://laserclassroom.com>



**Imatge 2.** *Llum blanca contra osset verd.* Font: <http://laserclassroom.com/>



**Imatge 3.** *Làser verd contra osset blanc.*



**Imatge 4.** *Làser verd contra osset vermell*



**Imatge 5.** *Làser lila contra osset blanc*





**Imatge 6.** *Làser lila contra osset groc*

## Experiment nº 5

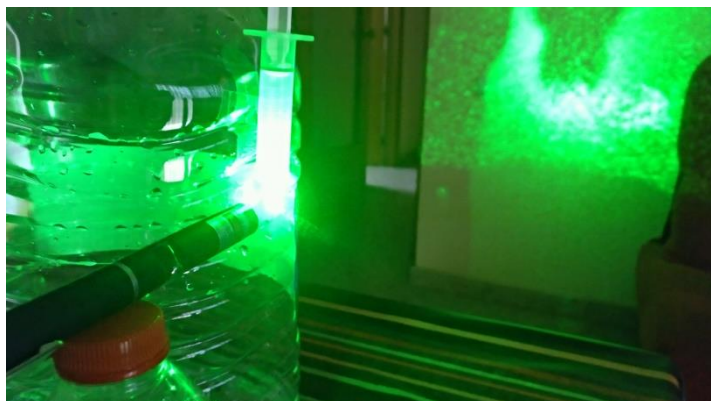
### **Títol** MICROSCOPI AMB LÀSER I AIGUA

<b>Objectius</b>	L'objectiu d'aquest experiment és veure objectes a través del làser amb l'ajuda d'una simple gota d'aigua que fa de microscopi. Si aquesta aigua, a més, està tèrbola podem veure les partícules que s'hi troben.
<b>Explicació física</b>	El làser és una font de llum capaç d'incidir en objectes molt petits de forma que aquests es vegin projectats, d'aquesta forma si fem incidir la llum del làser a través d'una gota d'aigua tèrbola podem veure els elements que es troben barrejats en ella o projectar objectes petits per veure'ls augmentats.
<b>Nivell de dificultat</b>	Experimentalment – Fàcil Conceptualment – Fàcil
<b>Material necessari</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Làser de baixa potència ( es pot utilitzar qualsevol, però per aquest experiment no és necessari un làser de més de 100mW ). Es recomana però un làser amb la sortida del feix de llum ample ja que volem veure els elements que es troben a l'aigua de forma clara. El color més adient és el verd ja que és el més clar.</li><li>- Necessitem un medi on pugui veure's reflectit el feix de llum, una paret llisa i blanca per exemple</li><li>- Aigua tèrbola</li><li>- Comptagotes o xeringa</li><li>- Cinta adhesiva</li></ul>
<b>Metodologia</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Disposar del medi que volem utilitzar</li><li>2. Posar una gota d'aigua tèrbola amb el comptagotes a la sortida del làser</li><li>3. Engregar el làser i enfocar-lo a la paret</li><li>4. Si utilitzem la xeringa la podem enganxar amb cinta adhesiva a un pal o a qualsevol superfície vertical i enfocada cap a baix. Anem pitjant la xeringa fins tenir una gota a la sortida sense que caigui.</li><li>5. Engregar el làser i fer-lo passar a través de la gota</li><li>6. Veure els elements que trobem en només una gota d'aigua. Veurem les ombres de les partícules que s'hi troben.</li></ol>
<b>Resultats</b>	Els resultats que esperem obtenir és veure les partícules que es troben en aigua tèrbola. Veure l'apartat <i>Imatges</i> .
<b>Precaucions</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sota cap circumstància enfocar el làser, o el seu reflex, als ulls.</li><li>- Posar-se ulleres protectores si es requereixen (depenent de la potència del làser).</li></ul>

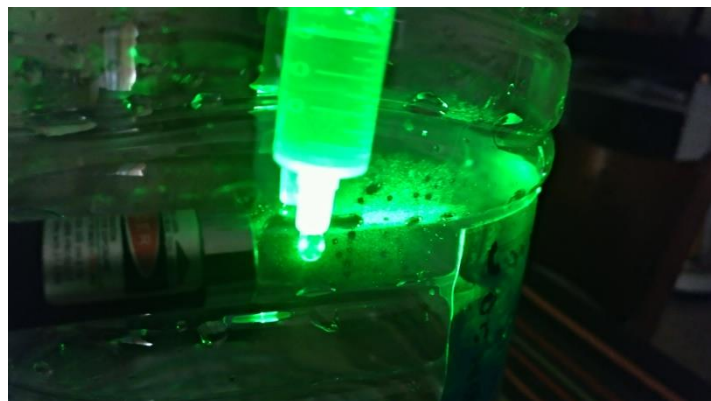




## IMATGES – EXPERIÈNCIA 5



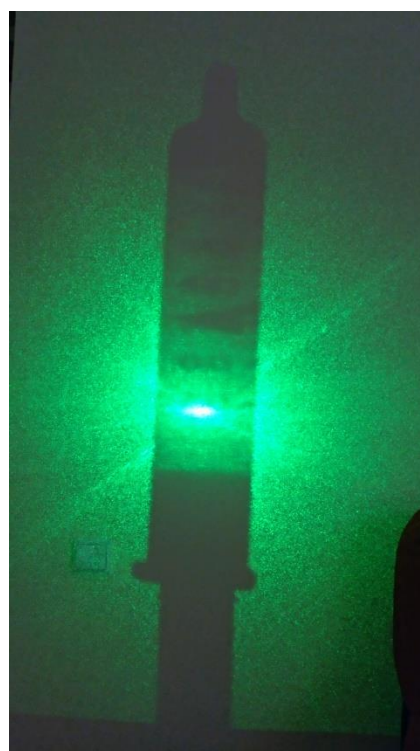
**Imatge 1.** *Microscopi amb làser*



**Imatge 2.** *Detall de la gota d'aigua*





**Imatge 3.** *Ampolla d'aigua projectada*



**Imatge 4.** *Xeringa projectada*

## Experiment nº 6 [8]

<b>Títol</b>	<b>DIFRACCIÓ</b>
<b>Objectius</b>	Fer passar el làser a través d'objectes per veure el patró que apareix. Comprovar com varia l'amplada del feix de llum i el comportament que té.
<b>Explicació física</b>	Mitjançant aquest experiment podem entendre el fenomen de la difracció. La difracció es produeix quan les ones procedents d'una font troben un obstacle o petita obertura. D'aquesta manera deixen de propagar-se en línia recta i voregen l'obstacle o s'obren si passen per una obertura. La figura que apareix (figura de difracció) té a veure amb la geometria de l'obstacle.
<b>Nivell de dificultat</b>	Experimentalment – Fàcil Conceptualment – Fàcil
<b>Material necessari</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Làser de baixa potència (es pot utilitzar qualsevol, però per aquest experiment d'òptica no és necessari un làser de més de 100mW)</li> <li>- Objectes variats per veure diferents comportaments del làser (des d'unes claus, un tros de cartró, etc.) o instruments d'òptica (veure <i>figura ?</i>)</li> <li>- Paper d'alumini</li> <li>- Superfície transparent (per exemple la carcassa d'un CD sense els papers)</li> <li>- Cinta adhesiva</li> </ul>
<b>Metodologia</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posar el làser en la posició que es vol (normalment horitzontal enfocat a la paret o superfície on es vol apuntar)</li> <li>2. Engegar el làser</li> <li>3. Enfocar el làser a diferents punts dels objectes</li> <li>4. Vores: Enfocar el feix de llum a la vora d'un objecte</li> <li>5. Amplada: Si no es disposa d'instruments d'òptica es pot realitzar un petit invent:             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Disposar d'una superfície plana i transparent</li> <li>b. Tallar dos trossos petits de paper d'alumini i enganxar-los amb cinta adhesiva a la superfície deixant entre ells un espai molt petit</li> <li>c. Fer passar el feix a través de l'espai</li> </ol> </li> <li>6. Orifici: Enfocar el feix de llum a un petit orifici</li> </ol>
<b>Resultats</b>	Els resultats que s'esperen aconseguir són els mostrats a les figures de l'apartat <i>Imatges</i> de la plana següent.
<b>Precaucions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sota cap circumstància enfocar el làser, o el seu reflex, als ulls.</li> <li>- Posar-se ulleres protectores si es requereixen (depenent de la potència del làser).</li> </ul>
	 

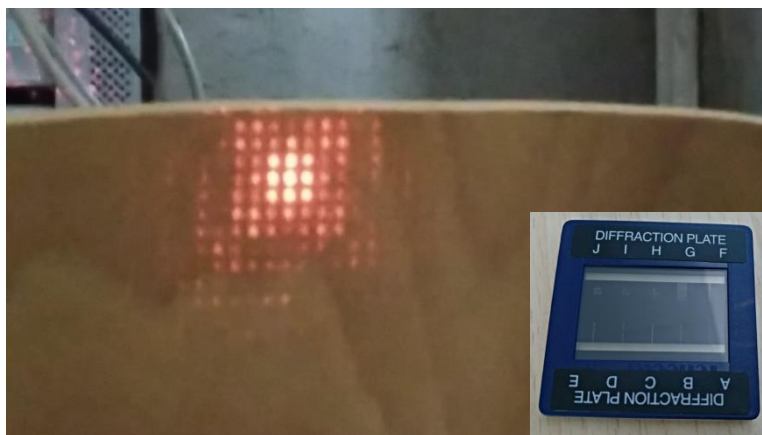
## IMATGES – EXPERIÈNCIA 6



**Imatge 1.** Instruments d'òptica



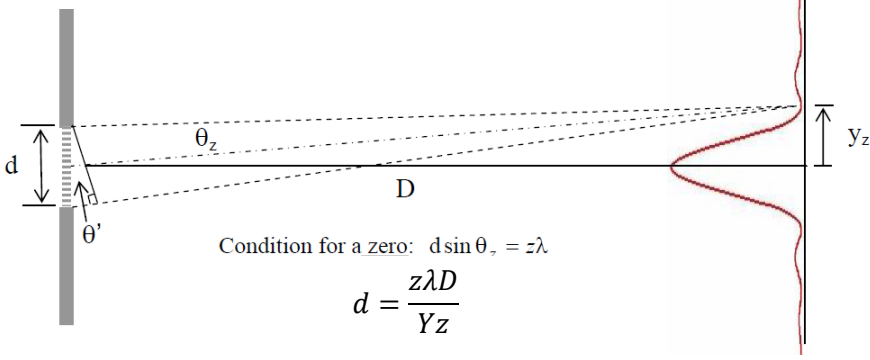
**Imatge 2.** Figura de difracció corresponent a una escltxa.



**Imatge 3.** Imatge formada amb un instrument d'òptica (passant el làser pel requadre corresponent a la lletra J).

## Experiment nº 7 [9]

### Títol DETERMINACIÓ DEL GRUIX D'UN CABELL. DIFRACCIÓ – 2a Part

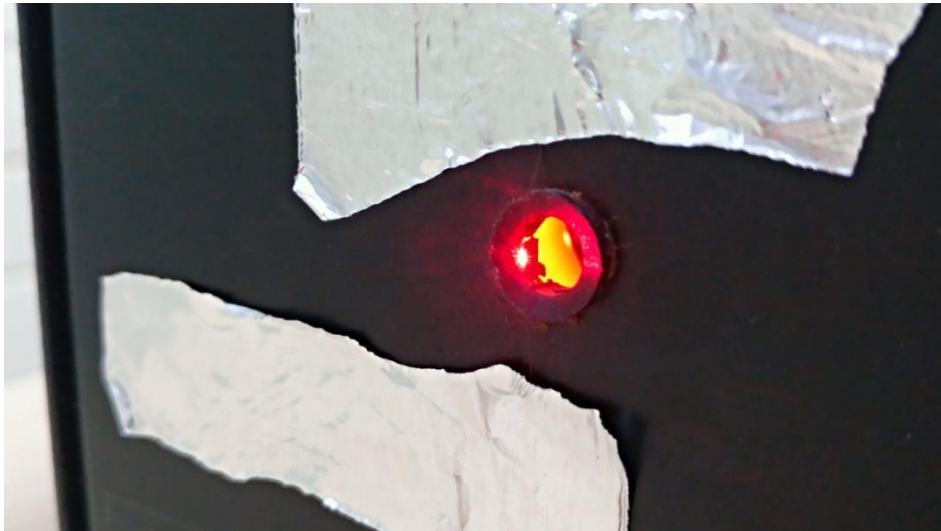
<b>Objectius</b>	Aprofitant l'anterior experiment podem determinar el gruix d'un obstacle molt petit, com per exemple un cabell, fent passar el feix del làser a través seu.
<b>Explicació física</b>	Quan una ona es troba un obstacle com un cabell aquest es converteix en un emissor secundari d'aquesta ona. Si fem incidir el feix del làser en un cabell podem veure aquestes ones secundàries que es creen. La intersecció d'aquestes ones lluminoses dóna lloc a una figura de difracció típica. Mitjançant uns càlculs senzills podem determinar el gruix del cabell. La figura de difracció que s'obté permet determinar de manera fàcil la mida de l'obstacle, en aquest cas del cabell.
<b>Nivell de dificultat</b>	Experimentalment – Fàcil Conceptualment – Intermedi
<b>Material necessari</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Làser de baixa potència (es pot utilitzar qualsevol, però per aquest experiment d'òptica no és necessari un làser de més de 100mW)</li> <li>- Un cabell</li> <li>- Cinta adhesiva</li> </ul>
<b>Metodologia</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posar el làser en la posició que es vol (normalment horitzontal enfocant a la paret o superfície on es vol apuntar)</li> <li>2. Engregar el làser</li> <li>3. Amb la cinta adhesiva enganxar el cabell a la sortida del feix de llum del làser</li> <li>4. Enfocar el feix de llum a la paret o superfície escollida i veure el patró reflectit</li> <li>5. Càlculs             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Geomètricament podem relacionar el diàmetre de l'obstacle que travessa el làser (en aquest cas un cabell) amb la distància entre el punt central de llum, els altres punts de llum i amb la distància entre el cabell i la superfície de reflexió</li> </ol> </li> </ol> <div style="text-align: center;">  <p>Condition for a zero: <math>d \sin \theta_z = z \lambda</math></p> <math display="block">d = \frac{z \lambda D}{Y_z}</math> </div> <p>Tenim:  <math>d</math> = diàmetre del cabell    <math>z</math> = número de feixos reflectits  <math>\theta'</math> = angle de refracció    <math>\theta_z</math> = angle del feix secundari  <math>D</math> = distància entre el cabell i la superfície  <math>Y_z</math> = distància entre el centre de difracció i el proper feix de llum  <math>\lambda</math> = longitud d'ona del làser</p>



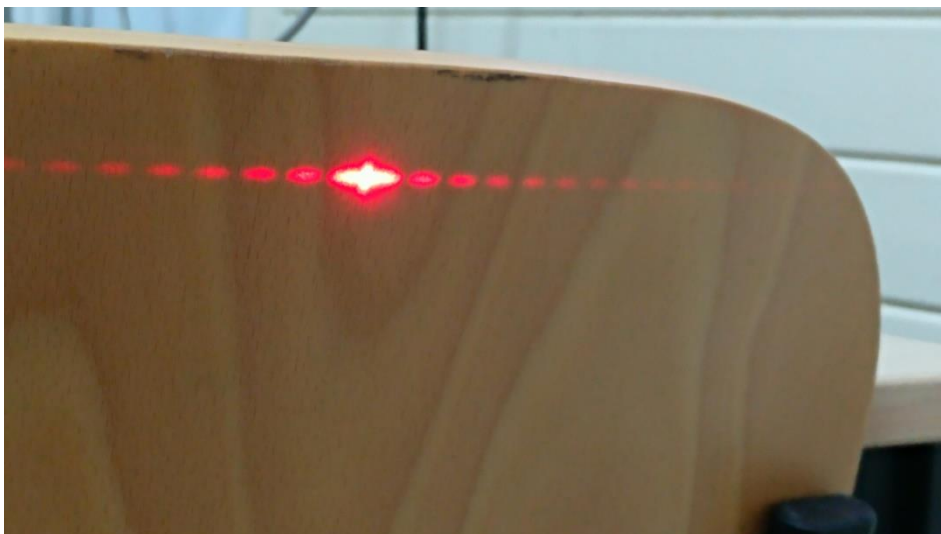
<b>Resultats</b>	El gruix d'un cabell és aproximadament de 0.001mm, ha de donar un valor semblant.
<b>Precaucions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sota cap circumstància enfocar el làser, o el seu reflex, als ulls.</li> <li>- Posar-se ulleres protectores si es requereixen (depenent de la potència del làser).</li> </ul>



## IMATGES - EXPERIÈNCIA 7





**Imatge 1.** Cabell enganxat a la sortida del làser



**Imatge 2.** Figura de difracció creada per la projecció del cabell

## Experiment nº 8 [10]

<b>Títol</b>	<b>ESCLATAR UN GLOBUS</b>
<b>Objectius</b>	A través del làser demostrar que es pot fer esclatar un globus de color negre i un de color blanc no.
<b>Explicació física</b>	El color negre té la capacitat d'absorbir la llum, el blanc en canvi la reflecteix, d'aquesta manera el globus de color negre absorbeix més ràpid l'energia del làser i s'escalfa fins que esclata. El globus blanc pot arribar a esclatar però requereix molt més temps ja que part de la llum que li arriba es veu reflectida. El làser, com qualsevol ona, transporta energia.
<b>Nivell de dificultat</b>	Experimentalment – Fàcil Conceptualment – Fàcil
<b>Material necessari</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Làser (potència = 1000mW o superior)</li><li>- Globus de color blanc</li><li>- Globus de color negre</li></ul>
<b>Metodologia</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Posar el làser en la posició que es vol (Convé col·locar el làser en un suport de manera que es mantingui fix sense moure's ja que el mateix tremolor de la mà pot fer inviable l'experiment, el làser ha d'incidir a un mateix punt durant tot el procés.)</li><li>2. Inflar els globus blanc i negre</li><li>3. Apuntar el làser al globus negre. Quant triga en esclatar?</li><li>4. Apuntar el làser al globus blanc. Quant triga en esclatar? Més o menys que el negre?</li><li>5. Posa un globus negre dins d'un globus blanc. Quin globus esclata?</li><li>6. Pinta amb un retolador permanent de color negre un cercle al globus blanc i apunta el làser a aquest cercle. Esclata el globus blanc?</li></ol>
<b>Resultats</b>	<p>Els resultats que s'esperen obtenir és veure com el color afecta en l'absorció i dispersió de la llum, per això el globus negre esclata abans que el blanc i aquest últim de fet ni arriba a esclatar.</p> <p>Val a dir com a curiositat que si el globus negre està massa poc inflat trigarà més en esclatar que si està completament inflat ja que la superfície on incideix el làser és més gruixuda.</p>
<b>Precaucions</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sota cap circumstància enfocar el làser, o el seu reflex, als ulls.</li><li>- Posar-se ulleres protectores si es requereixen (depenent de la potència del làser).</li></ul>

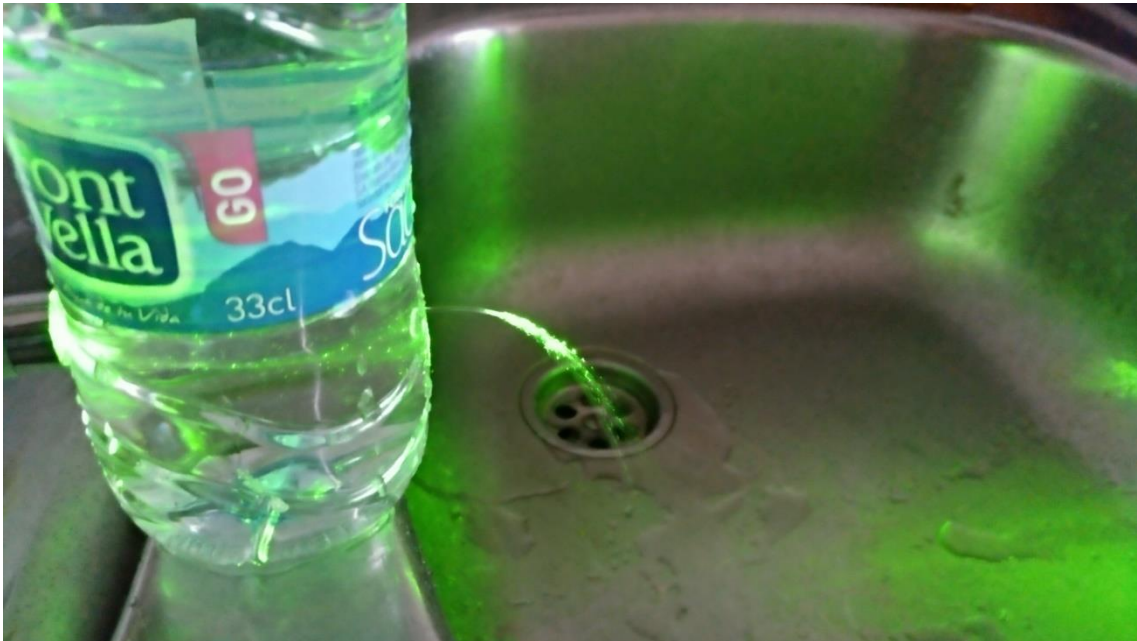


## Experiment nº 9 [11]

<b>Títol</b>	<b>UNA APROXIMACIÓ A LA FIBRA ÒPTICA</b>
<b>Objectius</b>	L'objectiu d'aquest experiment és veure com el feix de llum del làser "segueix" un raig d'aigua.
<b>Explicació física</b>	Aquest experiment és un exemple de refracció total interna, un fenomen que succeeix quan un feix de llum xoca en una superfície amb un determinat angle i es reflecteix en comptes de travessar-la. Dins el raig d'aigua que surt de l'ampolla, aquest fenomen es repeteix una vegada rere altra quan el làser hi passa a través, fent que la llum quedi "atrapada" dins la cascada d'aigua. És el principi de funcionament de la fibra òptica (veure Experiment nº 10)
<b>Nivell de dificultat</b>	Experimentalment – Fàcil Conceptualment – Fàcil
<b>Material necessari</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Làser (potència &lt; 500mW)</li><li>- Ampolla amb aigua (tant fa la mida, però com més gran més estona podrem veure l'experiment)</li><li>- Tisores, punxó o qualsevol eina per fer un forat petit i el més circular possible</li><li>- Recipient on deixar anar l'aigua (generalment una pica)</li><li>- Cinta adhesiva (opcional)</li></ul>
<b>Metodologia</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Fer un petit forat a l'ampolla (millor a la part baixa de l'ampolla) i el més circular possible</li><li>2. Tapar aquest forat amb la cinta adhesiva (es pot tapar amb el dit però per més comoditat millor tapar-ho amb cinta)</li><li>3. Omplir l'ampolla d'aigua i tapar-la</li><li>4. Si tenim l'ampolla d'aigua amb el tap posat veurem que al retirar la cinta adhesiva l'aigua no cau, tot i així millor mantenir-la posada</li><li>5. Engegar el làser i enfocar-lo per la part posterior al forat</li><li>6. Posar l'ampolla a la pica i treure la cinta adhesiva (també el tap si l'hem posat)</li><li>7. Veure com el làser segueix el raig d'aigua</li></ol>
<b>Resultats</b>	El resultat que s'espera obtenir és que el feix de llum del làser segueixi la trajectòria del raig d'aigua com a les fotografies de l'apartat <i>Imatges</i> de la plana següent.
<b>Precaucions</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sota cap circumstància enfocar el làser, o el seu reflex, als ulls.</li><li>- Posar-se ulleres protectores si es requereixen (depenent de la potència del làser).</li></ul>



IMATGES – EXPERIÈNCIA 9






**Imatge 1.** Làser verd "seguint" el raig d'aigua



**Imatge 2.** Una altra perspectiva de l'experiment

## Experiment nº 10

<b>Títol</b>	<b>LÀSER I FIBRA ÒPTICA</b>
<b>Objectius</b>	Veure el funcionament de la fibra òptica quan fem passar la llum d'un làser a través seu.
<b>Explicació física</b>	La fibra òptica és un mitjà de transmissió format per un fil molt fi d'un material transparent com el vidre o materials plàstics per el qual s'envien polsos de llum, que són les dades a transmetre. El feix de llum queda completament confinat i es propaga amb un angle de reflexió per sobre de l'angle límit de reflexió total.
<b>Nivell de dificultat</b>	Experimentalment – Fàcil Conceptualment – Fàcil
<b>Material necessari</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Làser (potència &lt; 500mW)</li><li>- Un tros de fibra òptica</li></ul>
<b>Metodologia</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Agafar el tros de fibra òptica i posar-lo recte</li><li>2. Engagar el làser i fer-lo passar a través del tros de fibra òptica. Es veu la llum del làser per l'altra banda del tros de fibra òptica?</li><li>3. Amb el làser engagat i sense deixar d'enfocar l'interior, doblegar el tros de fibra òptica. Se segueix veient la llum?</li></ol>
<b>Resultats</b>	<p>S'espera poder veure una imatge com la següent:</p>  <p><b>Imatge 1.</b> Làser a través de fibra òptica. Font: <a href="http://www.thefoa.org/images/VFL-TeachersVideo.jpg">http://www.thefoa.org/images/VFL-TeachersVideo.jpg</a></p>
<b>Precaucions</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sota cap circumstància enfocar el làser, o el seu reflex, als ulls.</li><li>- Posar-se ulleres protectores si es requereixen (depenent de la potència del làser).</li></ul>  



Comentari final.

Tot i que estava previst, finalment que no s'ha pogut utilitzar un làser blau (característiques: potència 500mW, longitud d'ona 405nm) pel disseny de nous experiments.

Alguns dels experiments que es podrien fer amb làsers de més potència serien els següents:



**Figura 1.1.** *Proposta d'experiment: Cremar paper*



**Figura 3.2.** *Proposta d'experiment: Encendre llumins*



**Figura 3.3.** *Proposta d'experiment: Tallar fusta*

## Capítol 4. El làser a la ficció

Existeix una llista molt àmplia de pel·lícules de ciència-ficció on apareixen làsers i a la majoria no mostren el làser tal i com és a la realitat. Agafant com a referència el treball que precedeix aquest projecte [12], veurem l'ús i els errors que fan del làser algunes pel·lícules de la ciència-ficció.

Quan l'espectador va al cinema sense nocions del funcionament del làser és fàcil poder-lo enganyar fent-li creure que el làser és producte de la ficció i que qualsevol pot disposar d'un làser súper destructiu sense saber el que suposa ni les limitacions físiques que presenta la seva creació.

En Superman, per exemple, pot disparar làser pels ulls, així com en Ciclop (*X-Men*). Fins ara, que se sàpiga, no hi ha cap ésser viu capaç de produir un làser, l'energia que utilitza és per mantenir les seves constants vitals com la temperatura, però com que són personatges de còmics, monstres alienígenes, i en definitiva éssers d'altres móns, l'espectador aliè a aquesta tecnologia surt convençut de que aquests personatges són capaços de produir un làser.

En algunes pel·lícules, per exemple, podem veure làsers de color blanc. Una de les propietats del làser és que és monocromàtic, és a dir, només conté la longitud d'ona d'un color en concret, el color blanc en canvi és la suma de tots els colors, per tant no compleix la condició de mono cromaticitat.

També se'ns mostra el làser més com una descàrrega elèctrica que no pas com el desplaçament d'una ona plana. Làsers més amples equival a làsers més destructius? Més endavant comentarem (Capítol 5, secció 5.1.6. Errors) una escena de "*Una nova esperança*" on 8 làsers s'uneixen per crear un súper làser, però el problema és que no per tenir més diàmetre té més energia, ben al contrari, com més gran menor densitat de potència hi ha.

Un altre error comú és la velocitat a la que van els làsers a les pel·lícules, molt inferiors a la velocitat de la llum, que és la velocitat a la que es propaga un làser. A més, aquests làsers són completament visibles i no es reflecteixen en cap direcció, sempre són absorbits pel material al que es dispara provocant les característiques explosions, molt visuals, a les que té tant acostumat l'espectador aquest gènere.

Ara bé, si l'objectiu del làser és un ésser viu, parets, portes d'acer, etc, el làser deixa un forat amb restes cendroses i no genera fum, això a la realitat no succeeix així, quan es crema un material es genera fum.

L'ús més curiós i ideal que se li dona al làser és el mèdic, a *Star Trek*, per exemple, podem veure làsers que són capaços de curar qualsevol ferida en qüestió de segons, quina tecnologia més ideal, llàstima que no sigui realista. En la medicina, els làsers s'utilitzen per tallar, coagular o vaporitzar teixit sense haver-lo de tocar i la seva interacció amb el teixit depèn de la capacitat del làser de concentrar la llum i produir calor en un punt determinat. Tots aquests usos requereixen temps d'execució, tant de bo els hospitals disposessin d'aquests làsers d'acció instantània.

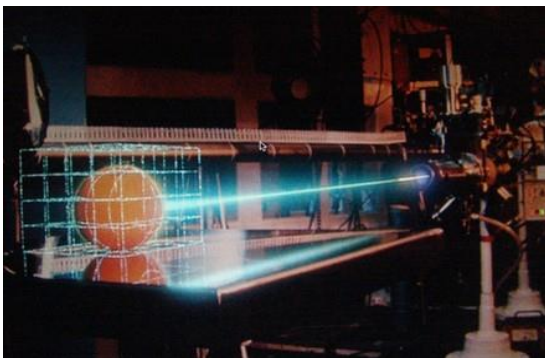
Aquí podem veure unes escenes de pel·lícules on apareix el làser, una petita mostra d'una llista molt llarga.



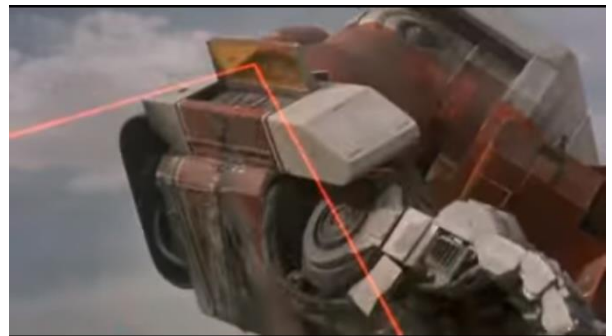
*Goldfinger, 1964*



*Superman, 1978*



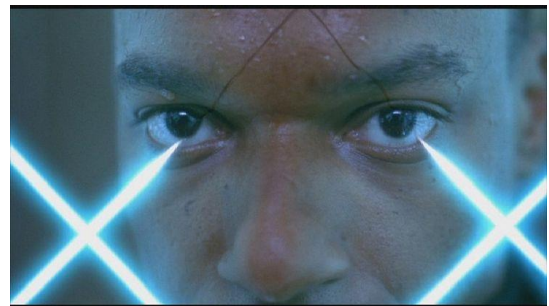
*Tron, 1982*



*Robot Jox, 1990*



*La Trampa, 1999*



*Resident Evil 2: Apocalypse, 2004*



*Ocean's Twelve, 2014*



*Los Vengadores, 2012*



## Capítol 5. El làser a la saga de *Star Wars*



**Figura 5.1.** Logotip de *Star Wars*. Font:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6c/Star\\_Wars\\_Logo.svg/1200px-Star\\_Wars\\_Logo.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6c/Star_Wars_Logo.svg/1200px-Star_Wars_Logo.svg.png)

A la saga de pel·lícules de *Star Wars* (traduïda erròniament a la nostra llengua com “*La guerra de les galàxies*”) els enfrontaments amb els sabres de llum o, com millor se les coneix, espases làser, són un dels moments més àlgids i espectaculars de l’increïble univers creat pel George Lucas. A cada pel·lícula de la saga se’ns delecta amb un enfrontament, a quin més espectacular, entre les forces de la llum (o els Jedi) i el costat fosc de la força (els Sith).

Però no només gaudim dels enfrontaments amb espases làser, Lucas ens presenta una història que transcorre en una galàxia molt, molt llunyana on, la República (coneguda com la resistència després de la seva dissolució) intenta frenar un imperi galàctic disposat a dominar tot l’univers.

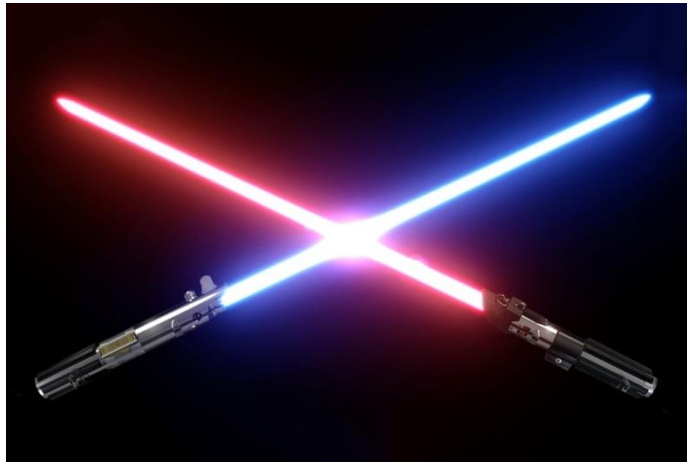
Ens trobem, doncs, davant d’una guerra que no veu mai el final, amb destructors imperials repartits per tota la galàxia enfrontant-se amb les naus de la República. Tenim tots els ingredients per gaudir de batalles espacials, molt espectaculars, molt vistoses però sobretot molt allunyades de la realitat.

Les armes làser són un recurs molt utilitzat en les pel·lícules de ciència ficció sobretot a l’hora de plasmar un suposat avanç tecnològic en armament militar, volent canviar el clàssic per un recurs més destructiu i amb unes propietats molt visuals, amb làsers de diferents colors i energia infinita.

## 5.1. Anàlisi d'escenes de les pel·lícules

### 5.1.1. Enfrontaments amb Espases Làser

Qui, al veure una escena d'un enfrontament amb espases làser per primera vegada, no queda bocabadat davant la pantalla? Jo segur que no, com a gran fan de la saga puc remarcar que per molt que hagi vist aquestes escenes moltes vegades sempre m'atrapen i em posen els pèls de punta.



**Figura 5.2.** Espases làser. Font: <http://geeknation.com/wp-content/uploads/2015/12/star-wars-lightsabers-111.jpg>

*Episodio I - La amenaza fantasma (1999)* – No doblada al català

Una figura misteriosa vestida de negre, amb aire desafiant, apareix davant dels seus oponents. En Darth Maul, deixeble d'en Darth Sidious, exposa la seva arma de doble fil davant del mestre Jedi Qui-Gon Jinn i el seu Padawan Obi-Wan Kenobi que engeguen els seus sabres disposats a fer front al seu adversari. El clima tens de la situació només es veu pertorbat per soroll de les espases làser.



**Figura 5.3.** Qui-Gon Jinn i Obi-Wan Kenobi vs Darth Maul. Font: [http://moviesmedia.ign.com/movies/image/article/121/1218512/star-wars-episode-i-the-phantom-menace-3d-20120209040336017-000\\_1328925980.jpg](http://moviesmedia.ign.com/movies/image/article/121/1218512/star-wars-episode-i-the-phantom-menace-3d-20120209040336017-000_1328925980.jpg)

### *Episodi II - L'atac dels clons (2002)*

El compte Dooku, abans mestre Jedi i ara a les ordres del malvat emperador Palpatine (Darth Sidious), es prepara per rebre el Mestre Jedi Obi-Wan Kenobi i el seu Padawan Anakin Skywalker. Després d'una persecució sense descans, els Jedis comencen una lluita frenètica on finalment en Dooku surt victoriós. Però no tot està acabat, el mestre Jedi Yoda arriba per fer front al Sith. Després de la lluita, però, en Dooku fa ús de la força per fer caure una columna sobre de l'Obi-Wan i l'Anakin i escapa amb la seva nau mentre en Yoda salva els seus companys.



**Figura 5.4.** *Yoda vs Compte Dooku.* Font:

<https://i.pinimg.com/originals/56/db/ef/56dbef010a1746ccec83c86e8bf29baf.jpg>

### *Episodi III - La venjança dels Sith (2005)*

El mestre Jedi Obi-Wan Kenobi i el seu Padawan Anakin Skywalker aconsegueixen de nou trobar-se amb en compte Dooku mentre van a rescatar el senador Palpatine. Es tornen a enfrontar però aquest cop l'Anakin és qui acaba vençant i mata el compte Dooku per ordres del senador Palpatine.



**Figura 5.5.** *Anakin Skywalker i Obi-Wan Kenobi vs Compte Dooku.* Font:

<https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/0/08/Dookuepisodeiii.jpg/revision/latest?cb=20091028223214>

El malvat emperador Palpatine ha sigut descobert. Fins ara s'havia refugiat sota l'aparença d'un senador de la República. L'Anakin descobreix el seu pla i ho comunica al mestre Jedi Mace Windu qui, junt amb 3 mestres més, es disposen a arrestar-lo. L'emperador es prepara per lluitar contra els mestres Jedi i fa ús del poder del costat fosc de la força disparant rajos des de les seves mans. Finalment l'emperador, conegut a partir d'ara com Darth Sidious, amb la intervenció de l'Anakin, acaba vençant i matant en Mace Windu.



**Figura 5.6.** *Mace Windu vs Darth Sidious.* Font:

<http://vignette3.wikia.nocookie.net/starwars/images/a/a4/Superconductingloop.png/revision/latest?cb=20130210042845>

Sistema Mustafar. Escenari de la gran lluita entre mestre i deixeble. L'Anakin Skywalker, consumit per la por a perdre la seva dona Padme, es deixa seduir pel costat fosc de la força, ja és massa tard per tornar enrere i el mestre Obi-Wan Kenobi viatja amb la determinació de parar-li els peus. L'Obi-Wan, dolgut per la decisió del seu aprenent, no pot evitar fer-li front sabent que ja no pot fer tornar el seu antic Padawan, convertit ara en Darth Vader.



**Figura 5.7.** *Anakin Skywalker vs Obi-Wan Kenobi.* Font:

[https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/8/81/Kenobi\\_Mustafar.jpg/revision/latest?cb=20051016112009](https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/8/81/Kenobi_Mustafar.jpg/revision/latest?cb=20051016112009)

La lluita entre els dos Jedis es realitza en un planeta on tot és magma. Les estructures leviten ja que s'han construït sobre camps de força sobre la mateixa lava. En un lloc com aquest on la temperatura ronda ben bé els 1200°C, temperatura suficient com per evaporar qualsevol individu que s'atrevis a endinsar-s'hi, els Jedis necessitarien alguna cosa més que la força per poder sobreviure, sort que la força és capaç de tot.

#### *Episodi IV - Una nova esperança (1977)*

En el planeta Tatooine, dels confins exteriors, un jove Luke Skywalker (fill d'en Darth Vader) somia en sortir i descobrir més de la galàxia tret del planeta insòlit en el que viu. Per fortuna (o per la voluntat de la força) es troba amb en Ben Kenobi (Obi-Wan) que rep un missatge urgent de la princesa Leia demanant-li ajuda. Aquest decideix emportar-se el Luke i ensenyar-li els camins de la força per convertir-lo en Jedi i marxen de Tatooine amb l'ajuda d'en Han Solo i el seu company Chewbacca a bord del Falcó Mil·lenari.

Quan queden atrapats dins l'estrella de la mort, en Ben Kenobi es retroba amb el seu antic deixeble, en Darth Vader, i s'enfronten per donar als seus amics l'oportunitat d'escapar.

En Darth Vader surt victoriós, ja que en Ben decideix deixar-se guanyar per donar als seus companys l'oportunitat per fugir de l'Estrella de la Mort, i travessa el seu mestre per la meitat. Però no el talla, anteriorment comentàvem que les espases làser eren ideals perquè tallaven alhora que cauteritzaven, en aquest cas no és necessari fer ús d'aquest recurs ja que la força decideix emportar-se en Ben i el fa desaparèixer.



**Figura 5.8.** *Obi-Wan Kenobi vs Darth Vader.* Font:

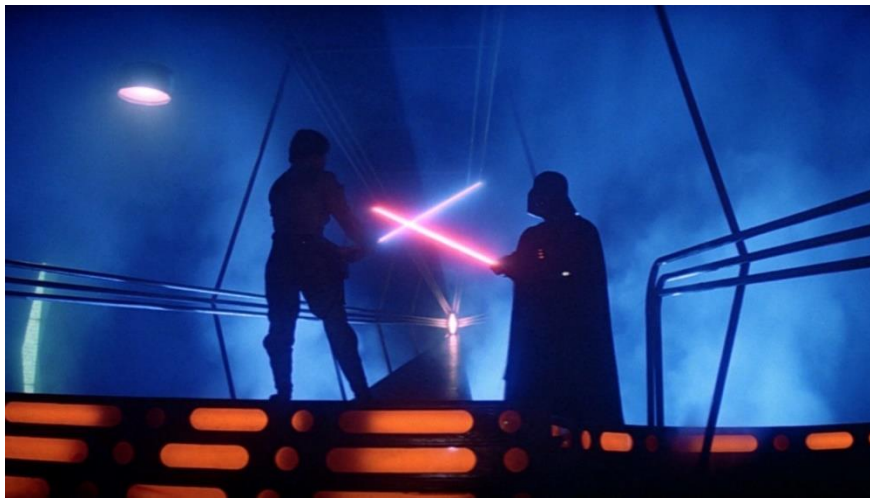
[http://www.dvdactive.com/images/reviews/screenshot/2011/9/anewhopebdcap8  
\\_original.jpg](http://www.dvdactive.com/images/reviews/screenshot/2011/9/anewhopebdcap8_original.jpg)



### *Episodi V - L'imperi contraataca (1980)*

En Luke Skywalker es dirigeix al planeta Dagobah a continuar el seu entrenament a mans del mestre Yoda. Aquest li explica que per ser un Jedi haurà d'enfrontar-se a en Vader però només quan estigui totalment preparat.

Degut a la guerra, els amics del Luke es troben en perill i aquest decideix anar-los a rescatar tot i no haver acabat el seu aprenentatge. Quan arriba a la ciutat on es troben els seus amics, segrestats per l'imperi, es troba cara a cara amb en Darth Vader. Comencen a lluitar i finalment en Vader guanya i li confessa al Luke que és el seu pare.



**Figura 5.9.** *Luke Skywalker vs Darth Vader.* Font: [https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--dXyvtl5E--/c\\_fill,fl\\_progressive,g\\_center,h\\_450,q\\_80,w\\_800/h45oray0rb6sqmoz4ut1.png](https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--dXyvtl5E--/c_fill,fl_progressive,g_center,h_450,q_80,w_800/h45oray0rb6sqmoz4ut1.png)

### *Episodi VI - El retorn del Jedi (1983)*

Després de perdre contra en Darth Vader, en Luke torna al planeta Dagobah per completar el seu entrenament i trobar respostes sobre el seu llinatge. En Yoda li confirma el seu temor, en Vader és el seu pare però ell no està disposat a renunciar al fet que una vegada va ser bo, vol fer-li recordar el bé que té al seu interior.

Quan es deixa capturar per l'imperi per poder trobar-se amb l'emperador, aquest el provoca fins que s'acaba enfrontant de nou al seu pare. Aquest cop en Luke venç el seu pare però renuncia a acabar amb ell, el que vol és salvar-lo del costat fosc. L'emperador llavors ataca el Luke disparant rajos de les seves mans. Entre crits de dolor i súplica, en Vader veu clar que l'emperador és el culpable de tots els seus mals, l'agafa per l'esquena i el llença daltabaix del pont de l'estrella de la mort. En Vader, a causa de la lluita i el xoc amb l'emperador, mor mentre es despideix del seu fill i li dona les gràcies per haver-li fet obrir els ulls.



**Figura 5.10.** *Darth Vader vs Luke Skywalker.* Font:

[https://images.moviepilot.com/images/c\\_limit,q\\_auto:good,w\\_600/loevpkz2jk77kzkmkaqi/are-these-the-top-10-best-lightsaber-battles-in-star-wars.jpg](https://images.moviepilot.com/images/c_limit,q_auto:good,w_600/loevpkz2jk77kzkmkaqi/are-these-the-top-10-best-lightsaber-battles-in-star-wars.jpg)

### *Episodi VII - El despertar de la força (2015)*

Han passat 30 anys des de la lluita entre en Vader i en Luke. La força es manifesta ara en una noia humil de Jakku, la Rey. L'imperi ha resorgit, conegut ara com el Primer Ordre i comandat pel líder suprem Snoke i el seu aprenent en Kylo Ren (Ben Solo), fill d'en Han Solo.

La Resistència està disposada a completar el mapa que porta a en Luke Skywalker, desaparegut des de fa molt de temps. En Finn, un soldat del Primer Ordre, fuig del Primer Ordre i es troba amb la Rey. Junts es disposen a portar el tros de mapa que queda a la Resistència.

En Kylo Ren, però, segresta a la Rey. En Finn, amb l'ajuda d'en Han Solo i el seu fidel amic Chewbacca, van a rescatar la Rey de les mans del Primer Ordre. En Kylo Ren es troba amb el seu pare i el mata, dut per la ira, fet que fa que en Finn i la Rey s'enfrontin més tard a en Kylo. Quan la Rey descobreix el poder de la força, empenya l'espasa i comença a lluitar amb en Kylo.



**Figura 5.11.** *Kylo Ren vs Rey.* Font:

[https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/c/c3/Rey\\_vs\\_Kylo\\_Ren.png/revision/latest?cb=20160303172711&format=original](https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/c/c3/Rey_vs_Kylo_Ren.png/revision/latest?cb=20160303172711&format=original)

### *Episodi VIII - Els últims Jedi (2017)*

La resistència escapa desesperadament del Primer Ordre. La Rey mentrestant busca en Luke Skywalker per aprendre els camins de la força. Després de rebre entrenament, la Rey va a la nau principal del Primer Ordre per enfrontar-se al líder suprem Snoke i intentar fer tornar en Ben Solo (Kylo Ren) al costat d'Iluminós. L'Snoke li pren l'espasa a la Rey i ordena a en Kylo Ren que la mati però aquest engega l'espasa de la Rey amb la força i mata l'Snoke. Comença una lluita frenètica entre els guardes personals de l'Snoke i la Rey i en Kylo junts.



**Figura 5.12.** *Rey i Kylo Ren vs Soldats Pretorians.* Font: <https://vfxblog.com/wp-content/uploads/2017/12/lightsaber.jpg>

El Primer Ordre aconsegueix acorralar la resistència dins una antiga base militar, abandonada de fa dècades. Quan les tropes d'en Kylo Ren es troben davant les portes de la base, en Luke apareix davant de tot l'exèrcit per fer front el seu antic alumne. Després d'una lluita frenètica en Kylo aconsegueix tallar en Luke amb l'espasa, o això creu. No l'ha tallat, sinó que l'ha travessat. En Luke és una projecció produïda per ell mateix amb el poder de la força. Quan en Kylo se n'adona, la resistència ja ha aconseguit fugir. En Luke, al fer ús d'aquest poder, però, li suposa un esforç massa gran que no pot resistir i acaba morint i desapareixent.



**Figura 5.13.** *Luke vs Kylo Ren.* Font: <https://i.redd.it/3fotr75twd901.jpg>



Totes aquestes escenes posen la pell de gallina a l'espectador que sap perfectament que serà testimoni d'una lluita espectacular amb espases làser, icones del cinema de ciència ficció i tant desitjades per tot fan de *Star Wars*.

Però, i com a fan de la saga ho dic decebut, les espases làser tal com les presenten a les pel·lícules, no deixaran de ser objectes de ficció.

### 5.1.2. Errors

L'error principal que trobem en les espases làser és, precisament, el seu nom. Espases làser, conegudes en anglès com *Lightsabers*, haurien d'haver estat traduïdes com Espases de Llum, que és un concepte més general que aportaria el toc de ficció de les pel·lícules, si l'espasa és de llum podem dir que en una galàxia molt, molt llunyana es pot modular la llum per convertir-la en una arma.

Tot i així, en la versió en català de les pel·lícules de la trilogia original, *Una nova esperança* (1977), *L'imperi contraataca* (1980) i *El retorn del Jedi* (1983) estan traduïdes, en alguns dels diàlegs, com Sabres de Llum, per tant tenim la traducció correcta, ara bé, sempre se les coneixerà més per espases o sabres làser. El problema doncs està en que si les denominem espases làser estem molt allunyats de la realitat del què és el làser.

Ens podem oblidar completament del xoc d'espases i el so tant característic que fan ja que dos feixos làser es travessen sense cap mena de problema. Els xocs són més aviat entre armes tradicionals metàl·liques i, és clar, seria molt estrany a les pel·lícules veure com proven de lluitar amb espases i veure que passen de llarg els feixos de llum, on queda l'espectacularitat? Com a molt podrien fer un duel per veure qui encega primer a l'altre (molt de compte amb aquest tema).

El mateix problema el trobem també al fet de poder desviar les bales làser amb les espases, aquestes travessarien el feix de llum de l'espasa.



**Figura 5.14.** Ben Kenobi desviant bales làser amb la seva espasa. Font: [https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/e/ed/Soresu\\_TCG\\_by\\_Foti.jpg/revision/latest?cb=20130626121721](https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/e/ed/Soresu_TCG_by_Foti.jpg/revision/latest?cb=20130626121721)

Les espases làser, a més, disposen d'energia infinita. A les pel·lícules només es pot veure que les espases deixen de funcionar si es desactiven o, en una escena de *L'atac dels clons* (2002), podem veure com l'espasa de l'Anakin Skywalker es parteix per la meitat i deixa de funcionar. Durant tot el temps que els cavallers Jedi mantenen les espases engegades no s'apaguen mai ni perden intensitat. Si aquesta energia infinita existís, benvinguda seria en el nostre planeta.

### 5.1.3. Batalles espacials



**Figura 5.15.** *Batalla espacial.* Font: <https://i.stack.imgur.com/JEhVn.jpg>

Les batalles espacials de la saga de *Star Wars* són molt espectaculars i sobretot vistoses. Al llarg de totes les pel·lícules trobem moltes batalles espacials entre les naus de la República i les de l'Imperi, són un dels grans moments de les pel·lícules.

Aquestes batalles delecten els espectadors amb explosions, làsers, naus fent maniobres trepidants, moltes espectacularitats que només formen part de la ficció. A les batalles espacials, els làsers són el plat principal. Totes les naus que hi participen estan armades amb canons làser que fan que l'espai exterior quedi impregnat de llum en el fragor de la batalla.

### 5.1.4. Errors

Podríem passar-nos hores parlant dels errors que trobem a les escenes de les batalles espacials, des de les maniobres de les naus, les explosions, els camps d'asteroides que sempre són un perill fins i tot per els pilots més experimentats... però el cas que ens ocupa és el làser. Ja hem dit anteriorment que del làser només podem veure el punt des d'on s'ha emès i el punt on es reflecteix si no es disposa d'un medi on enfocar-lo i a través seu veure el feix de llum, per molt que aquest sigui d'alta potència, a l'espai poc veuríem. [13]

Per tant, aquí trobem un gran error; a l'espai no podem veure la llum del làser, no hi ha un medi on projectar-lo ni atmosfera. Tampoc podríem escoltar les explosions de les naus o el soroll que fan les bales dels làsers al ser disparades o al rebotar als objectes, a l'espai no es propaga el so ja que no hi ha aire. Us imagineu com seria una batalla espacial totalment en silenci i només veient punts de colors a les naus? No discutirem que seria divertit però perdria tota l'essència de la saga i semblaria més una festa en una discoteca.

Un altre error és que encara que a l'espai hi hagués un medi on poder projectar el làser tampoc seriem capaços de veure'l ja que, no ens oblidem, el làser és radiació lluminosa, per tant al disparar un canó làser, la bala viatja a la velocitat de la llum.

Podríem pensar en, com presenten algunes variants d'aquestes armes, fer ràfegues i així poder veure els feixos de llum seguits. Doncs aquesta tampoc és una opció, per molt que intentem reduir el temps entre els trets (o el temps que es triga en apretar el gallet de l'arma) si per exemple el temps fos d'una dècima de segon, el pols làser que es generaria seria d'uns 30000km, no hi hauria manera de veure-ho.

A l'última pel·lícula de *Star Wars* "*Episodi VIII – Els últims Jedi*", estrenada recentment el desembre del 2017, fins i tot podem veure bales làser que canvien de direcció en plena trajectòria, quan el làser es propaga en línia recta i només es pot canviar la seva trajectòria si es desplaça per un medi on experimenta reflexions internes com en el cas de la fibra òptica.

#### 5.1.5. Pistoles, rifles i canons làser

Les pistoles, rifles (i armes de foc en general) làser són les armes més comuns de l'univers *Star Wars*. Tots els soldats en porten i representa que són el resultat de l'avenç tecnològic en armament militar, armes d'energia infinita i de potència molt elevada. Els perills de la galàxia semblen més petits si es va armat amb un bon blàster (nom que reben les pistoles i armes de foc làser).



**Figura 5.16.** Armes de foc làser (blàsters). Font:

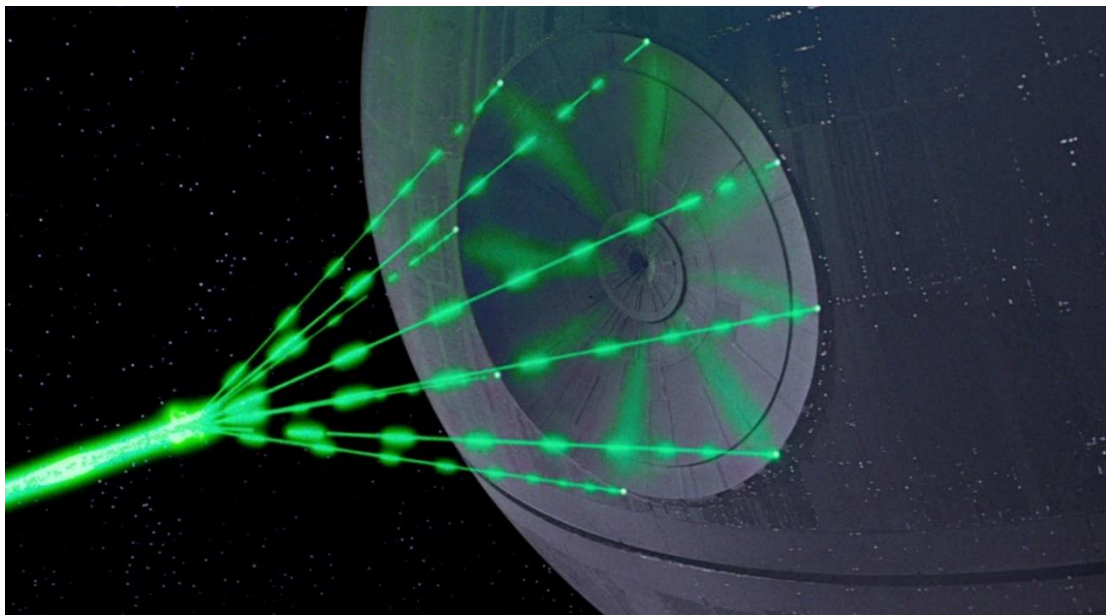
<https://www.originalstormtrooper.com/ekmps/shops/stormtrooper/images/e11-blaster-166-p.jpg>

### 5.1.6. Errors

Tal com passa amb els làsers de les naus a l'espai, els trets de les pistoles i rifles làsers no podríem veure'ls ni disposant d'un medi on projectar-los, ja que surten a la velocitat de la llum. A les guerres entre la República i l'Imperi veiem més les llums dels làsers que els propis soldats.

Un altre problema que trobem és que el làser està format per fotons, partícules sense càrrega elèctrica i per tant no veuen afectada la seva trajectòria en presència d'un camp magnètic exterior, ben al contrari del que succeeix a la mítica escena de "*Una nova esperança*", quan en Han, el Luke, la Leia i el Chewbacca queden atrapats dins d'una compactadora d'escombraries de l'*Estrella de la Mort* i en Han dispara a la porta en un intent desesperat d'obrir-la. El tret comença a rebotar per les parets passant per sobre dels seus caps, "no siguis boig! Està segellada magnèticament!" exclama en Luke.

En una altra de les escenes més importants de "*Una nova esperança*" l'imperi amenaça a la princesa Leia en destruir Alderaan si no els revela on es troba la base de la resistència. Tot i que la princesa els ho reveli veiem com l'*Estrella de la Mort* dispara al planeta Alderaan i el destrueix. Com ho fa? l'*Estrella de la Mort* està equipada amb una arma de destrucció massiva formada per làsers. De la circumferència de l'arma surten 8 rajos làser que s'uneixen en un de sol per formar un raig làser amb la potència necessària per destruir un planeta sencer.



**Figura 5.17.** *L'estrella de la mort* disparant un súper làser. Font: <https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/5/50/Superlaser2.jpg/revisi3n/latest?cb=20111104205236>

Es podria aconseguir realitzar aquesta unió dels làsers amb l'ús de dispositius òptics com combinadors, miralls o amb col·limadors.

Els combinadors realitzen l'acció contrària als divisors de feix, que divideixen un raig de llum en dos. Normalment estan formats per una lent que deixa passar la llum per un costat i per l'altre la reflecteix.

Un col·limador és un sistema que a partir d'un feix de llum divergent s'obté un feix paral·lel. Serveix per homogeneïtzar les trajectòries o rajos que s'emeten des d'una mateixa font però surten en diferents direccions.

El problema està en que aquests dispositius, tot i estar dissenyats per realitzar aquestes funcions, no suporten la potència d'un làser durant massa temps i s'acaben fent malbé. Per tant, si parlem de làsers amb la potència per destruir un planeta, potència dels quals seria de l'ordre dels Yotta watts ( $10^{24}$  watts), els dispositius es volatilitzarien. A més, un làser de més diàmetre no experimenta un augment de potència, tot el contrari, està menys concentrat i per tant perd potència.

## 5.2. Característiques del làser a *Star Wars*

Hem vist, doncs, que la idea de làser que ens mostren les pel·lícules està molt allunyada del que és el làser realment, tot es queda a la gran pantalla. El làser a la saga de *Star Wars* té un comportament ideal i podríem dir que és fins i tot emmotllable, les armes làser de les pel·lícules són molt vistoses i molt atractives però també són i seran objectes de ficció.

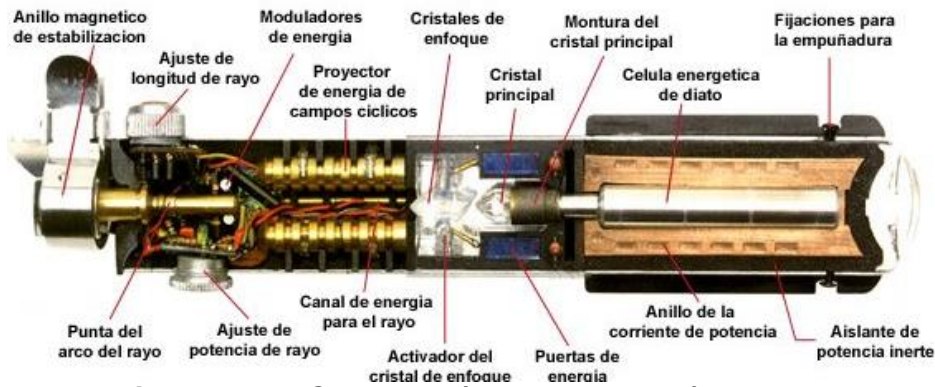
Parteixen de que són armes d'energia infinita, per tant són ideals. En cap moment de cap pel·lícula es pot veure que una espasa, pistola o rifle làser requereixi carregar-se o deixi de funcionar perquè s'ha quedat sense bateria. Fins i tot espases làser que porten dècades desaparegudes i sense engegar-se funcionen com el primer dia.

Això canvia, però, quan parlem dels canons làser de les naus més grans, hi ha escenes on es veu que aquests canons disparen una gran quantitat d'energia i surt el casquet de la suposada bala làser.

Tenen la propietat de cauteritzar alhora que tallen de forma que no és necessari afegir l'efecte de la sang i així es poden adreçar a tot el públic. Les espases làser, a més, estan dotades de la capacitat d'assolir una potència energètica infinita, ja que és capaç de desfer qualsevol blindatge en qüestió de segons, res a veure amb els làser reals que s'utilitzen per foradar planxes de metall, fondre materials, etc.

Les espases làser tenen més en comú amb una espasa tradicional que no pas amb un làser a la vida real. Són lleugeres (només compta el pes de l'empunyadura), còmodes de portar i al contrari que una espasa tradicional no s'ha d'esmolar ni patir per si es rovella. Són sòlides ja que xoquen entre elles, poden tallar-ho tot, fer rebotar bales làser, són l'arma ideal amb l'únic inconvenient que per poder-ne fer un bon ús cal tenir coneixements Jedi i ser sensible a la força, com diu el mestre Jedi Obi-Wan Kenobi: "*Fer servir bé un sabre de llum només està a l'abast d'algú extraordinari*".





**Figura 5.18.** Composició d'una espasa làser. Font:

<http://www.loresdelsith.net/universo/fuerza/sith/bin/esqsable.jpg>

Val a dir que per donar el toc de ficció a les espases làser, estan formades de materials que no es troben al planeta terra, com ara els cristalls de poder i color. Els cristalls donen a l'espasa el color, potència i estabilització. Són cristalls que es poden trobar als llocs on la força està present en grans concentracions, d'aquí que els Jedi o els Sith puguin extreure'ls i mitjançant la força incrustar-los a les seves espases.

Si comparem la composició d'una espasa làser amb un làser real tindriem que els cristalls serien el material que es fa servir per aconseguir la inversió de població del làser real, la cèl·lula energètica és la part del dispositiu que subministra l'energia necessària per al seu funcionament (els làsers reals funcionen endollats a la corrent o amb piles) i com a elements merament visuals tindriem l'anell d'estabilització i els ajustaments de la longitud i potència del raig, que equivaldria a les parts que fan que el làser tingui una dispersió més gran o més petita.

Les bales làser que disparen les pistoles i rifles tenen una potència elevadíssima que els permet, d'un sol tret, fer esclatar, per exemple, una nau estàndard, poden rebotar en indrets que estan segellats magnèticament i, sobretot, són visibles.



**Figura 5.19.** Làser visible disparat des d'un canó. Font:

[http://quorumdigital.uy/wp-content/uploads/2016/03/armamento.laser\\_.jpg](http://quorumdigital.uy/wp-content/uploads/2016/03/armamento.laser_.jpg)

## Capítol 6. Espases làser. Realitat o ficció?

Tot fan de *Star Wars* somia en poder viure en el món creat per en George Lucas; pilotar naus per l'espai, viatjar a la velocitat de la llum, ser un Jedi o un Sith i poder utilitzar el poder de la força però, sobretot, tenir una espasa làser.

Fans de *Star Wars*, ja us podeu treure la idea del cap. Partim altre cop del problema en la traducció d'aquestes armes: espases làser. Hem analitzat el làser a les pel·lícules i hem vist que el làser que ens mostren no té res a veure amb la realitat. Hauria sigut millor inventar-se un nom per denominar l'element del que estan formades.

El làser és invisible, no té massa, ben al contrari que les espases làser, aquestes són visibles, poden xocar entre elles (quan s'entrecreuen o es mouen per l'aire fan soroll) i estan limitades a la longitud d'una espasa convencional d'acer, aproximadament 1 metre, la idea de poder parar el làser a la longitud desitjada, quan aquest es propaga a la velocitat de la llum, sí que és digna d'estudi. [14]

Podríem pensar en el plasma com a substitut del làser [15]. El plasma és un gas els àtoms del qual no disposen d'electrons a l'escalfar-lo a una temperatura elevada. Amb aquest procés s'aconsegueix una mena de quart estat de la matèria, nuclis atòmics carregats positivament amb electrons lliures. A diferència dels gasos convencionals, que són elèctricament neutres, el plasma es pot "emmotllar" mitjançant camps elèctrics i magnètics. D'aquesta manera es podria intentar confinar el plasma dins d'una forma cilíndrica per simular l'empunyadura d'una espasa làser, però aquest procés no és prou adient ja que el plasma no es pot mantenir dins d'una geometria tant definida.

És necessària una tecnologia de contenció molt sofisticada per confinar el plasma la qual sembla que ja fa mil·lennis que existeix a l'univers *Star Wars*.

Si disposéssim d'un generador de plasma i un camp magnètic suficientment intens com per poder-lo confinar, no es podria evitar tenir pèrdues de plasma des de l'extrem del cilindre ja que la intensitat d'un camp magnètic disminueix amb la distància.

Si haguessin volgut fer les armes de plasma les haurien d'haver fet més curtes, són menys efectives però el resultat és més realista que el de les espases làser. Fins i tot utilitzar altres geometries com fer una espasa en forma de "donut" o posar l'empunyadura al mig, com l'espasa del Darth Maul, però evidentment la meitat de curta.

Tot i així les pèrdues que presentarien aportarien un aspecte molt menys nítid del que mostren a les pel·lícules, a més, es requereix una tecnologia molt sofisticada per confinar un plasma de forma efectiva, tecnologia que, segons sembla, a la saga ja fa mil·lennis que existeix.



## Capítol 7. Conclusions

### 7.1. Sobre el làser

Des de que Einstein va establir els fonaments del làser, passant per l'estudi de les emissions espontània i estimulada, els experiments de Townes, Bàssov i Prókhorov i finalment a la invenció del primer làser funcional a mans de Maiman, el làser ha tingut una gran evolució.

N'hi ha de diferents tipus segons la seva funció i de diferents classes segons les seves característiques (potència i longitud d'ona) i segons la seva perillositat. El seu ús s'ha estès a moltes aplicacions com la medicina, la indústria, l'oci, la telecomunicació i fins i tot l'estètica.

### 7.2. Sobre els experiments

Dels experiments realitzats en aquest treball podem concloure que el làser és una eina molt útil a l'hora d'explicar les propietats de la llum, es poden realitzar experiments molt visuals, didàctics i entretinguts que fan que l'alumne (o qui el realitzi) s'ho passi bé alhora que aprèn, a més no requereixen cap inversió gran (tret de potser el propi làser, que ja hem dit que en la majoria d'experiments no és necessari un de més de 100mW, si es vol molt potent o amb unes característiques superiors evidentment la despesa ja és superior) i tots es poden realitzar amb objectes quotidians, això és un valor afegit per a la seva realització, no cal disposar de dispositius cars, sofisticats o de difícil adquisició (perquè siguin objectes de laboratori, per exemple).

Ha estat una experiència molt gratificant realitzar els experiments. Per mi mateix ha sigut una bona manera d'ampliar el meu coneixement sobre el làser, que fins ara era el d'una simple font de llum o, en termes generals, una llum projectada a un punt en concret.

Per tant, com a comentari final, animo a tothom qui vulgui a realitzar aquests experiments, aportant la meua experiència poso a disposició de tothom les fitxes dels experiments per qui vulgui aprendre més coses sobre l'eina tant fantàstica que és el làser.

### 7.3. Sobre *Star Wars*

Malauradament, ja ho hem dit anteriorment, el concepte de làser de la saga de *Star Wars* s'allunya molt del làser a la vida real i dic malauradament perquè com a gran fan de la saga sempre he somiat des de petit en tenir una espasa làser.

Hem vist, doncs, que té unes propietats ideals, com ara que té energia infinita, és visible, té una potència molt elevada i es pot emmotllar a gust. Les espases làser sempre seran un objecte de ficció a la Terra, sempre que les continuem anomenant làser i amb les lleis de la física que ens regeixen, el làser no té res a veure amb el mostrat a les pel·lícules.

No el podrem confinar mai com les espases làser, ni amb camps magnètics o elèctrics ja que són fotons i per tant no tenen càrrega. Ja hem parlat del plasma com a possible substitut però també hem vist que no seria possible confinar-lo en la geometria tant definida de l'empunyadura de l'espasa làser i fer que fos d'una llargada similar, com a molt tindríem punyals "làser", és a dir, no serien armes fetes amb làser.

*"Que la força us acompanyi"*

### **Línies futures de continuació del treball**

Disposar d'un làser de més potència per poder realitzar experiments de més dificultat tant conceptual com experimental i educativa, aprofitant, sobretot, el seu poder calor

Analitzar més films on apareix el làser i sobre tot com el presenten, veure quines pel·lícules en fan un bon ús i quines deixen el làser com un objecte de ficció, com a *Star Wars*.

Aprofundir més en el concepte de làser, estudiar les seves propietats per poder fer-ne ús a altres aplicacions o fins i tot descobrir una nova forma de produir el làser.

## Llistat de figures

**Figura 2.1.** *Làsers de diferents colors.* Font:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/LASER.jpg>

**Figura 2.2.** *Emissió Espontània.* Font:

[https://thetuzaro.files.wordpress.com/2012/03/figura-3\\_1.jpg](https://thetuzaro.files.wordpress.com/2012/03/figura-3_1.jpg)

**Figura 2.3.** *Emissió Estimulada.* Font:

[https://thetuzaro.files.wordpress.com/2012/03/figura-3\\_1.jpg](https://thetuzaro.files.wordpress.com/2012/03/figura-3_1.jpg)

**Figura 2.4.** *Emissió Espontània vs Emissió Estimulada vs Absorció Estimulada.*

Font: <https://www.clpu.es/sites/default/files/emisiones.jpg>

**Figura 2.5.** *Tallar metall amb làser.* Font: <http://www.provimetal.cl/images/corte-laser-menu.jpg>

**Figura 2.6.** *Cirurgia làser.* Font: <http://www.clinicacoro.es/wp-content/uploads/2015/09/1%C3%A1ser1.jpg>

**Figura 2.7.** *Espectacle amb làsers.* Font: <http://pdm.com.co/BlogPDM/wp-content/uploads/2016/11/Deep-Web-1038x576.jpg?x81790>

**Figura 2.1.** *Proposta d'experiment: Cremar paper*

**Figura 3.2.** *Proposta d'experiment: Encendre llumins*

**Figura 3.3.** *Proposta d'experiment: Tallar fusta*

**Figura 5.1.** *Logotip de Star Wars.* Font:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6c/Star\\_Wars\\_Logo.svg/1200px-Star\\_Wars\\_Logo.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6c/Star_Wars_Logo.svg/1200px-Star_Wars_Logo.svg.png)

**Figura 5.2.** *Espases làser.* Font: <http://geeknation.com/wp-content/uploads/2015/12/star-wars-lightsabers-111.jpg>

**Figura 5.3.** *Qui-Gon Jinn i Obi-Wan Kenobi vs Darth Maul.* Font:

[http://moviesmedia.ign.com/movies/image/article/121/1218512/star-wars-episode-i-the-phantom-menace-3d-20120209040336017-000\\_1328925980.jpg](http://moviesmedia.ign.com/movies/image/article/121/1218512/star-wars-episode-i-the-phantom-menace-3d-20120209040336017-000_1328925980.jpg)

**Figura 5.4.** *Yoda vs Compte Dooku.* Font:

<https://i.pinimg.com/originals/56/db/ef/56dbef010a1746ccec83c86e8bf29baf.jpg>

**Figura 5.5.** *Anakin Skywalker i Obi-Wan Kenobi vs Compte Dooku.* Font:

<https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/0/08/Dookuepisodeiii.jpg/revision/latest?cb=20091028223214>

**Figura 5.6.** *Mace Windu vs Darth Sidious.* Font:

<http://vignette3.wikia.nocookie.net/starwars/images/a/a4/Superconductingloop.png/revision/latest?cb=20130210042845>

**Figura 5.7.** *Anakin Skywalker vs Obi-Wan Kenobi.* Font:

[https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/8/81/Kenobi\\_Mustafar.jpg/revision/latest?cb=20051016112009](https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/8/81/Kenobi_Mustafar.jpg/revision/latest?cb=20051016112009)

**Figura 5.8.** *Obi-Wan Kenobi vs Darth Vader.* Font: [http://www.dvdactive.com/images/reviews/screenshot/2011/9/anewhopebdcap8\\_original.jpg](http://www.dvdactive.com/images/reviews/screenshot/2011/9/anewhopebdcap8_original.jpg)

**Figura 5.9.** *Luke Skywalker vs Darth Vader.* Font: [https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--dXyvtl5E--/c\\_fill,fl\\_progressive,g\\_center,h\\_450,q\\_80,w\\_800/h45oray0rb6sqmoz4ut1.png](https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--dXyvtl5E--/c_fill,fl_progressive,g_center,h_450,q_80,w_800/h45oray0rb6sqmoz4ut1.png)

**Figura 5.10.** *Darth Vader vs Luke Skywalker.* Font: [https://images.moviepilot.com/images/c\\_limit,q\\_auto:good,w\\_600/loevpkz2jk77kzkmkaqi/are-these-the-top-10-best-lightsaber-battles-in-star-wars.jpg](https://images.moviepilot.com/images/c_limit,q_auto:good,w_600/loevpkz2jk77kzkmkaqi/are-these-the-top-10-best-lightsaber-battles-in-star-wars.jpg)

**Figura 5.11.** *Kylo Ren vs Rey.* Font: [https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/c/c3/Rey\\_vs\\_Kylo\\_Ren.png/revision/latest?cb=20160303172711&format=original](https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/c/c3/Rey_vs_Kylo_Ren.png/revision/latest?cb=20160303172711&format=original)

**Figura 5.12.** *Rey i Kylo Ren vs Soldats Pretorians.* Font: <https://vfxblog.com/wp-content/uploads/2017/12/lightsaber.jpg>

**Figura 5.13.** *Luke vs Kylo Ren.* Font: <https://i.redd.it/3fotr75twd901.jpg>

**Figura 5.14.** *Ben Kenobi desviant bales làser amb la seva espasa.* Font: [https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/e/ed/Soresu\\_TCG\\_by\\_Foti.jpg/revision/latest?cb=20130626121721](https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/e/ed/Soresu_TCG_by_Foti.jpg/revision/latest?cb=20130626121721)

**Figura 5.15.** *Batalla espacial.* Font: <https://i.stack.imgur.com/JEhVn.jpg>

**Figura 5.16.** *Armes de foc làser (blàsters).* Font: <https://www.originalstormtrooper.com/ekmps/shops/stormtrooper/images/e11-blaster-166-p.jpg>

**Figura 5.17.** *L'estrella de la mort disparant un súper làser.* Font: <https://vignette.wikia.nocookie.net/starwars/images/5/50/Superlaser2.jpg/revision/latest?cb=20111104205236>

**Figura 5.18.** *Composició d'una espasa làser.* Font: <http://www.loresdelsith.net/universo/fuerza/sith/bin/esqsable.jpg>

**Figura 5.19.** *Làser visible disparat des d'un canó.* Font: [http://quorumdigital.uy/wp-content/uploads/2016/03/armamento.laser\\_.jpg](http://quorumdigital.uy/wp-content/uploads/2016/03/armamento.laser_.jpg)

## Bibliografia

[1] <https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1ser#Historia> (data de consulta: 24 de novembre del 2017)

[2] <https://www.clpu.es/divulgacion/bits/que-son-la-emision-espontanea-la-emision-estimulada-y-la-inversion-de-poblacion> (data de consulta: 22 de novembre del 2017)

[3] [http://www.sprl.upv.es/IOP\\_RF\\_01%28a%29.htm](http://www.sprl.upv.es/IOP_RF_01%28a%29.htm) (data de consulta: 23 de novembre de 2017)

[4] [https://ca.wikipedia.org/wiki/L%C3%A0ser#Tipus\\_de\\_l%C3%A0sers](https://ca.wikipedia.org/wiki/L%C3%A0ser#Tipus_de_l%C3%A0sers) (data de consulta: 23 de novembre de 2017)

[5] [6] <https://graciasalaser.wordpress.com/2010/03/19/aplicaciones/>  
[https://ca.wikipedia.org/wiki/L%C3%A0ser#Aplicacions\\_dels\\_l%C3%A0sers](https://ca.wikipedia.org/wiki/L%C3%A0ser#Aplicacions_dels_l%C3%A0sers)  
(data de consulta: 25 de novembre de 2017)

[7] Experiment basat en el mostrat al següent web:  
<http://laserclassroom.com/products/lasers-and-gummy-bears/> (data de consulta: 21 de gener del 2018)

[8] Idea de l'experiment extreta de: Tippie A., Lee T.,.: *Experiments with diffraction* [arxiu PDF]. Recuperat de  
[http://www2.optics.rochester.edu/workgroups/berger/EDay/EDay2008\\_Diffraction.pdf](http://www2.optics.rochester.edu/workgroups/berger/EDay/EDay2008_Diffraction.pdf)

[9] Experiment basat en el mostrat al següent web:  
<http://omicro.no.elespanol.com/2015/04/medir-pelo-usando-difraccion/> (data de consulta: 29 de novembre del 2017)

[10] Experiment basat en el mostrat al següent web:  
<http://www.fogonazos.es/2012/12/un-experimento-con-globos-y-un-puntero.html>  
(data de consulta: 29 de novembre del 2017)

[11] Experiment basat en el mostrat al següent web:  
<http://www.experimentoscaseros.info/2015/03/impresionante-experimento-con-un-laser-y-agua.html> (data de consulta: 18 de gener del 2018)

[12] Mosquera, J.: *El láser en el cine: ciencia o ficción*. [arxiu PDF]. Projecte fi de carrera (2011)

[13] <http://omicro.no.elespanol.com/2015/01/4-cosas-en-las-que-todas-las-pelis-de-ciencia-ficcion-se-equivocan/> (data de consulta: 2 de desembre del 2017)

[14] [http://www.eldiario.es/hojaderouter/ciencia/fisica-ciencia\\_ficcion-superheroes-Jordi-Jose-Manuel-Moreno-UPC\\_0\\_563794465.html](http://www.eldiario.es/hojaderouter/ciencia/fisica-ciencia_ficcion-superheroes-Jordi-Jose-Manuel-Moreno-UPC_0_563794465.html) (data de consulta: 3 de desembre del 2017)

[15] Moreno, M., José, J.: *La ciencia de la ciencia-ficción. Espadas láser, naves espaciales y superpoderes*, Colección Descubrir la ciencia (El País), Batiscafo S.L., Barcelona (2016)



## Filmografia

*Goldfinger* (Guy Hamilton, 1964), Eon Productions, Regne Unit

*Superman* (Richard Donner, 1978. *Superman: The Movie*), Dovemead Films, Regne Unit

*Tron* (Steven Lisberger, 1982), Walt Disney Productions, Estats Units

*Robot Jox* (Stuart Gordon, 1990), Altar Productions, Estats Units

*La Trampa* (Jon Amiel, 1999), 20th Century Fox, Estats Units

*Resident Evil 2: Apocalipsis* (Alexander Witt, 2004. *Resident Evil: Apocalypse*), Sony Pictures, Regne Unit

*Ocean's Twelve* (Steven Soderbergh, 2004), Warner Bros. Pictures, Estats Units

*Los Vengadores* (Joss Whedon, 2012. *The Avengers*), Marvel Studios, Estats Units

*Star Wars Episodi IV: Una nova esperança* (George Lucas, 1977. *Star Wars Episode IV: A New Hope*), Lucasfilm, Estats Units

*Star Wars Episodi V: L'imperi contraataca* (Irvin Kershner, 1980. *Star Wars Episode V: The Empire Strikes Back*), Lucasfilm, Estats Units

*Star Wars Episodi VI: El retorn del Jedi* (Richard Marquand, 1983. *Star Wars Episode VI: Return of the Jedi*), Lucasfilm, Estats Units

*Star Wars Episodio I: La amenaza fantasma* (George Lucas, 1999. *Star Wars Episode I: The Phantom Menace*), Lucasfilm, Estats Units

*Star Wars Episodi II: L'atac dels clons* (George Lucas, 2002. *Star Wars Episode II: Attack of the Clones*), Lucasfilm, Estats Units

*Star Wars Episodi III: La venjança dels Sith* (George Lucas, 2005. *Star Wars Episode III: Revenge of the Sith*), Lucasfilm, Estats Units

*Star Wars Episodi VII: El despertar de la força* (J.J. Abrams, 2015. *Star Wars Episode VII: The Force Awakens*), Lucasfilm, Estats Units

*Star Wars Episodi VIII: Els últims Jedi* (Rian Johnson, 2017. *Star Wars Episode VIII: The Last Jedi*), Lucasfilm, Estats Units