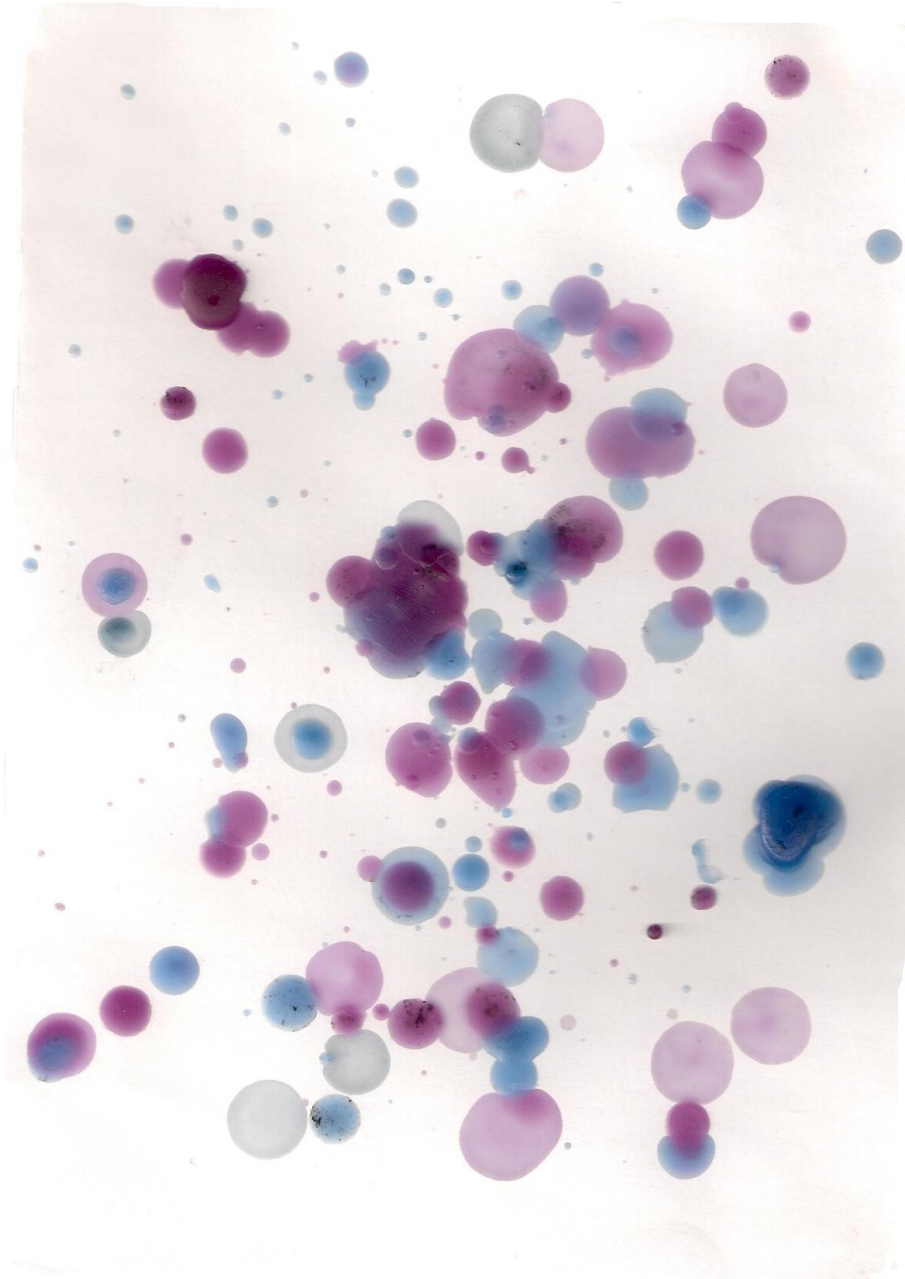


FÍSICA VINT-I-QUATRE VEGADES PER SEGON

Anàlisi de l'Univers físic d'*Star Trek*



Clàudia Payrató Borràs
IES La Sedeta
Tutora: Margarida Prats

“La fotografía es verdad. Y el cine es verdad 24 veces por segundo.”

Jean-Luc Godard

*A la meva família,
l'Esther, el Jorge i el Marc,
per demostrar que no calen forats de cuc per a crear un univers paral·lel
i que els nostres estius són la única singularitat on el temps corre cap enrere.*

*I a la Conxita,
perquè sempre mantindré un grapat dels meus àtoms
entrellaçats amb els teus.*

Agraïments.

A la Margarida Prats, sense la dedicació, l'interès i l'ajuda de la qual aquest projecte hauria quedat desterrat a l'univers de la ficció.

Al Gerard Erruz, per introduir-me en el món *trekkie* i facilitar-me el material, i un grapat de converses infinites.

I a tots aquells familiars i amics que, amb els seus consells, les seves crítiques i sobretot, el seu suport, m'han acompanyat i han aportat el seu granet de sorra a aquest treball de recerca.

1. Introducció.

“Los que más han amado al hombre le han hecho siempre el máximo daño. Han exigido de él lo imposible, como todos los amantes.” Friedrich Nietzsche

Ciència i desenvolupament han anat agafats de la mà des del principi del temps. És més, la història de la humanitat es podria descriure en grans trets pels canvis en les fonts d'energia, que afecten directament al transport, les comunicacions, el mode de vida i els corrents artístics i culturals de la societat.

Si reculem en el temps per observar-nos a nosaltres mateixos, podem afirmar que el control del foc és la primera fita energètica de la humanitat. Apart d'escalfar-se, permetia espantar les grans feres i coure els aliments, eliminant així un gran nombre de malalties.

Paral·lelament, la primera gran revolució en transport fou, sens dubte, la invenció de la roda. És un descobriment que segurament va néixer nu de teories científiques, únicament de la pura observació i experimentació de l'entorn -de la mateixa manera que l'ús del foc-. Tot i que podríem intuir un naixent esperit científic en aquests primers avenços, és curiós que la primera bicicleta rudimentària no va aparèixer fins passats més de 5.000 anys, després de la primera revolució industrial.

Així doncs, i coneixent l'enorme poder que té la ciència per canviar la societat, és impossible no preguntar-se: i si actualment tenim un nou descobriment davant dels ulls (una “bicicleta del futur”) i no el veiem? I sobretot, amb els medis adients per construir-lo? En el marc actual seria una pregunta absurda, ja que l'exploració científica en el camp de l'energia i les seves aplicacions en el transport és exhaustiva, arrel a l'enorme interès i pressió internacional.

Però per molt increïble que sembli, sempre hi ha racons que queden amagats per l'ombra d'altres grans descobriments, o simplement passen desapercebuts als nostres ulls. La recerca en allò que coneixem és limitada, però l'exploració de l'impossible és

Física vint-i-quatre vegades per segon.

infinita. Malauradament, durant molt temps, el que desconeixem ha sigut matèria de ficció i fantasia. La literatura i el cinema han sigut els grans protagonistes a l'hora de narrar els viatges més ràpids que la llum, les utilitats d'una quarta dimensió o les conseqüències d'un avenç imminent de la intel·ligència artificial.

Finalment, la comunitat científica sembla despertar d'un llarg somni en un moment en que molts dels esdeveniments etiquetats com: “És bonic però impossible” passen a ser de la categoria: “No t'ho creuràs però és cert...”. En una era d'explosió científica en que cada cop ens acostem més a la màgia, allò que abans era argument de ciència-ficció s'ha convertit en la matèria prima de noves teories científiques.

Aquesta revolució científica pot deixar a l'atur a un bon nombre d'escriptors de ciència ficció (que hauran de buscar noves propostes aparentment absurdes i esperar uns altres cent anys fins que algunes d'aquestes emergeixin a l'univers de la realitat), però obre noves portes a l'exploració científica. Així doncs, no és gens estrany que una sèrie de televisió de ciència-ficció pugui convertir-se en un objecte de treball i d'estudi. Idees desassenyades o fantàstiques podrien convertir-se en noves i fresques propostes científiques.

L'objectiu d'aquest treball és analitzar l'univers físic d'Star Trek buscant teories actuals que puguin explicar els fenòmens que hi tenen lloc, i també destacar els errors i les incongruències que hi apareixen quan les apliquem.

I, més enllà d'això, observar com el cinema és capaç de crear i representar un univers enorme que comença en els límits del nostre coneixement. I sorprenentment aquestes fronteres acaben diluint-se... per desaparèixer.

Tanmateix, de la mateixa manera que desapareixen algunes fronteres, se'n creen de noves, i mentre l'univers de la ciència s'expandeix, la ficció es traspassa a altres dimensions i espurneja en partícules virtuals que sorgeixen del no-res . Mentre hi hagi gent que segueixi veient més enllà de la frontera, mentre conservem la capacitat i la valentia d'imaginar el que ningú més s'atreveix per por a sentir “Boig!”, i no només imaginar-ho sinó plasmar-ho en el món material... Mentre això passi, sempre podrem parlar de ciència-ficció i de fantasia.

I per als amants de la ciència-ficció clàssica -d'homes invisibles, naus més ràpides que la llum i espases làsers- sempre podran recordar vells temps llegint les revistes de ciència actuals... O si més no, aquest treball de recerca.

2. Metodologia d'estudi.

“No sé si el autor se ha percatado de que la verdad, además de verdadera, es divertida.” José Antonio Marina.

L'univers físic d'*Star Trek* és enormement ampli i variat. Per aquesta raó, és impossible tractar, amb un mínim de rigor i detall, tots els aspectes que hi apareixen. Conseqüentment ens hem centrat principalment en el món del transport -el viatge més ràpid que la llum, la teleportació o *teletransport*, el raig tractor i la font d'energia de la nau- i l'univers en termes d'espai-temps -universos paral·lels, les onze dimensions, les fractures en el teixit de l'espai-temps, i rareses i peculiaritats-. També apareixen petites mencions sobre els escuts i els mètodes de comunicació.

El desenvolupament del treball ha constatat de diferents fases, que comprenen:

- Recerca d'informació sobre l'argument dels diferents capítols i tria dels que podien aportar més contingut.
- Anàlisi físic dels capítols, cercant errors, plantejant dubtes i seleccionant els temes que havien de ser tractats posteriorment.
- Cerca d'informació sobre ciència ficció, teories existents que poguessin justificar els fenòmens observats o diferents hipòtesis que, combinades, proporcionessin una explicació consistent.
- Aplicació de teories ja existents a l'univers d'*Star Trek*, creació de noves teories que poguessin explicar el comportament de certs fenòmens i cerca d'errors en ambdós casos.

Evidentment, aquest és un només un esquema que pot ajudar a entendre el treball, i no s'ha de considerar en cap cas en ordre cronològic o com categories tancades.

Sobre els capítols seleccionats i analitzats, a l'Annex es poden trobar les referències. Van ser triats en funció del tema científic central que tractaven, que es va considerar interessant en el context del treball. Cal mencionar que, malgrat només estudiem la part

Física vint-i-quatre vegades per segon.

física d'*Star Trek*, no podem classificar aquesta sèrie dintre del gènere de divulgació científica. El fet que ignorem l'argument i la càrrega temàtica dels capítols no és perquè siguin poc importants, sinó simplement perquè no tenen cabuda en aquest treball. S'ha de dir, a favor d'*Star Trek*, que és una sèrie que aconsegueix dibuixar un món complex d'una manera pulcra i ben treballada, i independentment de la física que l'envolta, retrata diferents situacions polític-econòmiques, relacions socials i problemes de caire espiritual molt encertadament. Malauradament, el treball no va encaminat cap a les intricades relacions humanes, sinó cap a una altra direcció encara més misteriosa i desconeguda... L'emboirat univers de l'impossible.

3. Transport.

“El que se pierde es el que encuentra las nuevas sendas.”

Nils Kjaer

En el món quotidià, plantejar-se anar a la velocitat de la llum és una qüestió absurda. L'avió més ràpid actualment, l'X-49A, podria enllaçar Nova York i Londres en menys de dues hores. Aquest temps rècord impressionaria a qualsevol viatger habitual, que sap que el temps de vol dels avions comercials és d'aproximadament 8 hores.

Però amb la seva impactant velocitat de 8000 km/h, l'X-49A no arriba ser poc més de set vegades la milionèsima part de la velocitat de la llum en el buit. Això significa que si poguéssim viatjar amb l'X-49A per l'espai, tardariem més de 570 mil anys en arribar a l'estrella més pròxima al sistema solar, Pròxima Centauri -que es troba a uns 4,22 anys llum-. Evidentment, aquesta proposta queda fora de les possibilitats de qualsevol agència de viatges.

Tot i que això no suposa cap problema a la societat actual, podria ser-ho en un futur pròxim. Avui dia l'exploració de l'espai exterior és una recerca purament científica, però en un futur llunyà podria arribar a ser una necessitat. Quan el Sol es converteixi en una gegant vermella, el seu diàmetre augmentarà fins a engolir la Terra entre les seves flames. I quan aquesta catàstrofe tingui lloc, si és que la raça humana encara està viva per presenciar-ho, haurem d'haver aconseguit trobar un altre planeta on sobreviure. Llavors, la distància a la que es trobi aquest planeta i el temps que tardem en recórrer-la sí que podria esdevenir un problema, com a mínim, quotidià.

Star Trek presenta un món sorprenent en quan a viatges interestel·lars: fonts d'energia gairebé inesgotables, motors supersònics, velocitats més ràpides que la llum, teletransport i raigs tractors. En aquest món, la distància entre sistemes i galàxies ha deixat de ser un problema, per la qual cosa deduïm que han pogut superar la barrera de la llum. Però no només això, sinó que a vegades apareixen dades impactants: poden arribar a la velocitat astronòmica de 6.000 milions de km/s! Evidentment, la despesa

Física vint-i-quatre vegades per segon.

energètica que implica, no només aquestes altíssimes velocitats, sinó també el manteniment d'una nau com la *Enterprise*, és enorme. Així doncs, com ho aconsegueixen? És únicament ciència ficció o existeix alguna possibilitat d'arribar a aquesta tecnologia? Per increïble que sembli, trobem teories que podrien encaixar en aquest marc físic. L'ús d'antimatèria, la propulsió Alcubierre o els forats de cuc són algunes de les propostes que estudiarem seguidament i que podrien omplir aquests buits.

3.1. Font d'energia de la nau.

És difícil trobar una persona que hagi vist algun capítol d'*Star Trek* i no s'hagi preguntat mai pel funcionament del motor que impulsa la monstruosa *Enterprise*. Fins i tot aquells amb més carència d'esperit científic es senten impressionats i encuriosits per les misterioses reaccions que tenen lloc a la sala de màquines. És un simple motor químic com els que coneixem? Un reactor nuclear de fusió? Potser de fissió? O bé un motor iònic?

La resposta, però, és molt més sorprenent: és un motor d'antimatèria. Tot i que durant molts anys l'antimatèria s'ha mantingut a l'ombra de la ficció, actualment s'ha demostrat la seva existència gràcies als acceleradors de partícules. Encara que produir antimatèria és un procés llarg i costós, els científics hi segueixen treballant fervorosament. I no és estrany: és un combustible excel·lent.

El secret del seu enorme valor és troba en la famosa equació d'Einstein: $E=mc^2$. I és que quan l'antimatèria entra en contacte amb la matèria ordinària s'aniquilen mútuament, alliberant una quantitat extraordinària d'energia. Per a fer-se'n una idea, l'energia emmagatzemada en l'antimatèria és de l'ordre de 1.000 milions de vegades més gran que la concentrada en el combustible d'un coet ordinari.

Tanmateix, el fet de que es tracti del combustible idoni no garanteix que sigui el que s'utilitza a *Star Trek*. Trobem d'altres indicis que ens confirmen aquesta suposició:

- En el capítol "El emisario" de la temporada 1 de Deep Space Nine, hi ha una fuga de combustible i explota. És un efecte lògic tenint en compte que la matèria i

Física vint-i-quatre vegades per segon.

l'antimatèria s'aniquilen en entrar en contacte alliberant una gran quantitat d'energia.

- En el capítol “Causa y Efecto” de la cinquena temporada de *The Next Generation*, hi ha un moment en que perden antimatèria provinent del reactor. La frase textual, dita pel personatge *Data*, és la següent: “El cierre del núcleo ha fallado. Estamos perdiendo antimatèria”.
- En el capítol “Momento Crítico” de la segona temporada de *Voyager*, l'oficial Tom Paris aconseguix superar la velocitat factorial 10, fita que ràpidament manifesta una estranya reacció en el seu cos: totes les seves cèl·lules pateixen una mutació accelerada, transformant Paris en un individu d'una espècie diferent. El diàleg següent és una proposta del doctor sobre com podrien aturar aquesta mutació imminent, i demostra la presència d'antimatèria en el reactor de la nau:
 - *Doctor*: Eliminando su ADN nuevo. Sus células tendrán que usar su código original, pero tendría que aplicarle radiación de antiprotones.
 - *B'Elanna*: Antiprotones? El único sitio que genera antiprotones es el núcleo factorial.”

Atès que la única funció amb lògica que pot tenir l'antimatèria en una nau sembla ser la de combustible, aquests tres exemples són confirmacions de l'esperat: el que batega per les venes de la nau i alimenta el cor de l'*Enterprise* és antimatèria.

Què és la antimatèria?

El descobriment de l'antimatèria correspon al premi Nobel Paul Dirac, un físic brillant que va ocupar la càtedra Lucasiana de la Universitat de Cambridge, i que va predir l'existència d'antimatèria en formular la seva famosa “equació de Dirac”.

Aquesta equació neix l'any 1928, quan va reformular l'equació de Schrödinger per adaptar-la a la teoria de la relativitat, de manera que també pogués descriure el moviment d'electrons que viatgessin a altes velocitats.

Però l'existència d'antimatèria no és predita únicament per la seva equació, sinó que ve determinada prèviament per la teoria de la relativitat especial. Mentre treballava en la famosa equació d'Einstein, Dirac es va adonar de que aquesta estava incompleta. La

Física vint-i-quatre vegades per segon.

manca era tan senzilla que podria semblar insignificant: $E = \pm mc^2$. Atès que elevem un nombre al quadrat -i els quadrats sempre originen un nombre positiu- cal incloure un més o menys de dubte -doncs el nombre elevat al quadrat pot ser tan positiu com negatiu-.

Les implicacions d'aquest canvi són profundes. Si incloem un + o - de dubte significa que pot existir energia negativa. Però tots els objectes tendeixen a la mínima energia. Quan nosaltres tirem una pilota cap al cel aquesta tendeix a caure ja que al nivell del terra té menys energia. Llavors, si existeix aquesta energia negativa, per què els electrons no cauen en un estat d'energia negativa infinita?

Per a solucionar aquesta paradoxa, Dirac va idear el concepte de “mar de Dirac”. Si tots els estats d'energia negativa estan plens, llavors és impossible que els electrons caiguin en un estat d'energia negativa infinita, i han de buscar la mínima energia en un estat positiu. El “mar de Dirac”, doncs, es pot imaginar com un mar que cobreix tots els estats d'energia negativa, completant-los. Tanmateix, aquest “mar” no és inalterable. És possible que un feix d'energia positiva -un raig gamma- incideixi en el mar de Dirac, llançant l'electró que es trobava en un estat d'energia negativa -submergit en el “mar”- a un estat d'energia positiva.

Quan això passa aquest electró deixa un “buit” en el “mar de Dirac”. Aquest “buit” tindria la mateixa massa que l'electró original però càrrega invertida. És a dir, seria un antielectró.

Per visualitzar aquesta situació ens podem imaginar una massa de pastís. Aquesta massa de pastís és el “mar de Dirac”, en que tots els estats d'energia negativa estan coberts. Podem considerar la massa de pastís com matèria o energia, doncs és indiferent atès a l'equació d'Einstein. Llavors nosaltres podem agafar una cullera i fer una cullerada en aquesta massa de pastís. Això mai passaria espontàniament, ja que la massa de pastís és estable; de manera que es necessita energia exterior. Aquesta acció, doncs, seria equivalent a focalitzar un feix d'energia en el “mar de Dirac”. Si suposem que aquesta massa de pastís és relativament compacta, la forma de la cullerada quedara marcada i per tant la massa actuarà com a motllo. És a dir, que tindrem dues cullerades: una de massa de pastís (electró) i una altra feta de no-res (antielectró), però que tenen el mateix aspecte i volum (l'electró i l'antielectró també tenen la mateixa massa). Si imaginéssim que en aquest univers només existeix massa de pastís i no-res (la cullera seria un recurs

Física vint-i-quatre vegades per segon.

lingüístic) llavors, tot i tenir la mateixa forma, cullerada de massa de pastís i cullerada de no-res serien partícules antagòniques. I això és el que passa exactament amb electró i antielectró.

Cal puntualitzar, però, que no totes les partícules tenen una antipartícula “independent”. És a dir, nosaltres podem diferenciar un protó d'un antiprotó atès que, tot i tenir el mateix aspecte, la seva càrrega elèctrica és contrària. Així doncs el protó és positiu i l'antiprotó negatiu, i són un sistema de partícula-antipartícula en que cadascuna és independent de l'altra i es poden diferenciar per al seva càrrega elèctrica. Però llavors què passa amb les partícules neutres? Per exemple, el fotó no té càrrega. En aquests casos els científics han suposat que aquestes partícules poden ser la seva pròpia antipartícula, de manera que fotó i antifotó seria el mateix.

Tot i que en aquest fragment hem parlat únicament d'antielectrons i antiprotons, no només existeixen antipartícules. Si unim un antiprotó i un antielectró podem obtenir antihidrogen, i anàlogament antisil·lici, antipotassi, antiurani... I atès que tota la matèria té la seva antimatèria, podrien existir antiLlunes, antiSisemesSolars i fins i tot, antiUniversos.

Evidentment, antiUniversos és una paraula que segueix sonant a ciència-ficció, però la veritat és que l'antimatèria va traspasar la frontera entre ficció i realitat ja fa molt de temps. Carl D. Anderson va ser el primer en demostrar l'existència d'antipartícules experimentalment, concretament de l'antielectró, l'any 1932. Més tard, l'any 1955, Emilio Segrè i Owen Chamberlain van demostrar l'existència de l'antiprotó i l'antineutró.

Aquesta sèrie de descobriments, però, no anaven més enllà del camp de l'antipartícula. No va ser fins al 1965 que es va poder parlar per primera vegada d'antimatèria pròpiament dita, amb la creació d'un antideuteró –la unió d'un antiprotó i un antineutró– en els acceleradors de partícules del CERN i el AGS. A partir d'aquí, els acceleradors de partícules s'han convertit en la gran fàbrica d'antimatèria. El 1995 el CERN va anunciar la creació de nou àtoms d'antihidrogen. Poc temps després el Fermilab va superar la proesa en produir un centenar d'àtoms del mateix antielement.

Però quina és la producció d'aquesta fàbrica d'antimatèria avui dia? Tot i que el progrés en la producció antimatèria no sembla aturar-se, la realitat és que actualment encara ens trobem molt lluny de poder produir prou antimatèria per fer funcionar una nau estel·lar.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

I és que l'antimatèria és, de lluny, la substància més preuada i sens dubte més cara del món. El seu preu ascendeix a uns 62,4 bilions de dòlars per gram.

Evidentment, això suposa un inconvenient important a l'hora d'utilitzar l'antimatèria com a combustible, i ens indica que encara ens queden molts obstacles per superar. Un pas clau a l'hora de rebaixar l'altíssim preu de producció seria el disseny d'un accelerador específic per a la creació d'antimatèria, ja que els acceleradors actuals no estan ideats amb aquest objectiu.

Malgrat tots els problemes als quals ens enfrontem, amb el pas del temps és probable que puguem arribar-ne a produir la quantitat suficient per alimentar una nau. I és que la seva eficiència com a combustible és tan increïble que s'ha calculat que únicament 4 mil·ligrams d'antimatèria serien necessaris per a enviar un coet a Mart en un termini d'unes poques setmanes. Sens dubte, aquesta suposaria una de les revolucions del transport interestel·lar més important de tots els temps, i ens apropiaria una mica més a l'univers d'*Star Trek*.

Un reactor d'antimatèria.

Ara que coneixem l'enorme potencial però al mateix temps les dificultats a l'hora de treballar amb antimatèria, cal preguntar-nos: com aconseguen a *Star Trek* dominar aquesta tecnologia?

Com hem vist un electró i un antielectró són partícules antagòniques que s'aniquilen mútuament alliberant energia, és a dir, que tota la seva matèria passa a convertir-se en energia. Però això no és del tot cert, ja que aproximadament el 50% de la matèria s'escapa en forma de partícules pràcticament imperceptibles: els neutrins. Tanmateix, tampoc cal espantar-se, ja que la quantitat d'energia alliberada per un reactor d'antimatèria seguiria sent fabulosa¹. De fet, si cal almar-se per alguna cosa és pel perill que implica manejar una quantitat tan alta d'energia.

¹ La conversió de matèria en energia correspon a l'equació $E=mc^2$, en que c és la velocitat de la llum en el buit, és a dir, aproximadament 300.000.000 m/s. A més a més elevem al quadrat aquest nombre enorme, i el multipliquem per la massa. Si tot això ho dividim per dos, no cal dir que el nombre segueix sent desorbitat

Física vint-i-quatre vegades per segon.

El principal problema que planteja l'ús d'antimatèria és que s'aniquila quan entra en contacte amb la matèria, i tenim la mala sort que el nostre món està fet totalment – o gairebé totalment² – de matèria. Cal idear doncs, una manera per mantenir aïllada l'antimatèria, per tal de que no entri en contacte amb la matèria fins el moment desitjat.

La possibilitat que més encaixa en el model de funcionament d'*Star Trek* és la creació d'un camp magnètic en el qual queda atrapat un gas d'antiions –antiprotons segurament- en el que s'anomena generalment una “ampolla magnètica”. Trobem diverses proves que verifiquen aquesta possibilitat, per exemple:

- Quan es refereixen al combustible l'anomenen generalment “plasma”. Atès que gas d'ions i “plasma” són sinònims, es confirmaria la hipòtesi de que la manera de mantenir aïllada l'antimatèria és ionitzant-la a altes temperatures. Els següents fragments han sigut extrets de diàlegs i confirmen aquesta suposició:

En primer lloc, les tres cites que veurem a continuació demostren que el plasma forma part del reactor.

- En el capítol “Causa y efecto” de la cinquena temporada de *The next Generation*, Data diu: “ El impulsor de estribor ha sufrido un impacto directo. Estamos perdiendo plasma.”

- En el capítol “El Paria”, de la cinquena temporada de *The next Generation*, trobem el diàleg següent:

“-¿Puede acceder a los propulsores de estribor?

- Ya está.

- Fije el arco a 6,3. Mejoraré el flujo de plasma.”

- Finalment, en el capítol “El abandonado” de la primera temporada de *Deep Space Nine*, mentre estan intentant arreglar el nucli del reactor, trobem la següent frase textual: “Reactivando reactor 2. Dirigiendo flujo de plasma a los conductos 143, 144...”.

² Hi han alguns físics que afirmen que seria possible que existissin sistemes o galàxies senceres d'antimatèria. En aquest cas no tot l'univers estaria fet de matèria ordinària. Aquesta possibilitat és deguda a una hipòtesi sobre l'origen de l'antimatèria, que suggereix que en un principi existien antimatèria i matèria en unes proporcions gairebé idèntiques. Tanmateix, un petit desequilibri que afavoria a la matèria –hi havia una mica més de matèria que d'antimatèria- va ser la responsable de que, en aniquilar-se mútuament, el residu final fos de matèria. Com que aquesta teoria postula que la creació d'antimatèria és natural, deixa oberta la possibilitat de que existeixin encara “bosses” aïllades d'antimatèria.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Una altra confirmació que demostra que el plasma és la font d'energia de la nau la trobem en el capítol “Momento crítico” de la cinquena temporada de *Voyager*, doncs en tallar el conducte es produeix una apagada general. Chakotay, parlant sobre un oficial que s'ha escapat, diu el següent: “Paris se ha escapado de la zona de ingeniería. Disparó un faser al conducto de plasma. Tenemos un apagón.”

- Una altra confirmació que no es basa en l'aparició de la paraula “plasma” la trobem en el capítol “Causa y efecto”, de la segona temporada de *Voyager*. En aquest, mencionen que l'antimatèria que forma part del nucli està constituïda per antiprotons, és a dir, ions negatius en un estat d'alta temperatura (que seria equivalent a un estat de plasma), i que, atès que la seva càrrega elèctrica final és negativa, es podria mantenir confinat en una botella magnètica. Anteriorment ja hem anomenat algunes cites d'aquest episodi que també justifiquen aquesta afirmació (veure pàgina 7), i un altre exemple és el següent: “*B'Elanna*: Apague los reactores factoriales. Emita 0,057 UMAs de radiación de antiprotones”. Aquest diàleg té lloc a la sala de màquines de l'*Enterprise*, doncs els antiprotons provenen del nucli del reactor. Cal matisar que en aquest cas l'antiplasma és utilitzat per a eliminar una part de l'ADN mutant de l'oficial Tom Paris. Certament aquesta és una aplicació possible, doncs els antiions reaccionarien amb la matèria ordinària del cos humà, i si s'aconseguís focalitzar correctament, podria treballar sobre zones molt concretes. Tanmateix, també seria un procés molt arriscat, doncs en produir-se la reacció s'alliberaria una gran quantitat d'energia en forma de calor que podria resultar perjudicial per a l'ésser viu. Per això la radiació d'antipartícules s'hauria de realitzar en una proporció molt baixa, condició que, d'altra banda, la sèrie sembla respectar.

Un cop solucionada aquesta qüestió, caldria fer reaccionar l'antimatèria amb matèria per tal d'obtenir energia. S'hauria de crear un corrent continu d'antimatèria que entraria en una cambra de reacció; on, amb molta cura, aquesta es combinaria amb matèria ordinària. Els residus de la col·lisió entre matèria i antimatèria serien els **neutrins** (Veure glossari), que no es poden utilitzar per impulsar la nau seguint la llei de conservació del moviment ja que la seva massa és pràcticament zero i no es poden atrapar.

Així doncs, l'energia que s'obté de la col·lisió entre matèria i antimatèria té quatre usos diferents:

- **Manteniment de la nau.** Això inclou subministrar energia a tots els sistemes de defensa (fàssers, escuts), camp d'integritat de la nau –el que origina la gravetat artificial i compensa les grans acceleracions- , teletransport, raig tractor, zona hologràfica, sistemes de replicació, i usos energètics per mantenir la tripulació – calefacció, llum, aparells electrònics, etc-.
- **Propulsió Alcubierre.** Aquest sistema de desplaçament que estudiarem a continuació podria ser una de les possibilitats viables a l'hora de superar la frontera de la llum. La quantitat d'energia necessària per a dur-la a terme és enorme, de manera que el reactor d'antimatèria s'hi adaptaria a la perfecció.
- **Altres tipus de propulsió.** Tot i que la propulsió Alcubierre és una possibilitat, no és l'únic sistema de transport que apareix a *Star Trek*. Quan viatgen a velocitats més baixes el sistema de propulsió és més semblant al que actualment utilitzen els coets químics. Una possibilitat a l'hora de moure's a velocitats menors és que l'energia alliberada per la reacció entre matèria i antimatèria sigui utilitzada per escalfar gasos a altes temperatures. Aquests sortirien expulsats per un extrem de la nau i així adquiriria impuls.
- Utilitzar una part de l'energia per **produir més antimatèria**. Aquesta afirmació és en realitat una pregunta camuflada... Doncs, d'on treuen l'antimatèria?

Col·lisionadors portables, gasolineres d'antimatèria i recol·lectors de l'espai.

Un cop superats tots els obstacles que implica la creació d'un reactor de matèria-antimatèria, topem amb un problema interessant que sorgeix quan intentem avançar una mica més enllà: si considerem aquest tipus de motor com quotidià, llavors, d'on sorgeix l'antimatèria necessària per alimentar-lo?

Una de les possibles respostes la trobem en el nostre propi món: de la mateixa manera que actualment. La producció d'antimatèria d'avui dia és centralitzada en els grans acceleradors de partícules. Tot i que aquestes fàbriques d'antimatèria encara són en

Física vint-i-quatre vegades per segon.

extrem rudimentàries i cares, no és desassenyat pensar que en un futur la tècnica es podria arribar a perfeccionar fins a originar una vertadera cinta de producció d'antimatèria.

Però aquestes suposicions tenen cabuda en el món d'*Star Trek*? Com hem suggerit abans, podria ser que una part de l'energia fos dirigida a crear més antimatèria. Això implicaria que la pròpia nau hauria de comptar amb un petit accelerador de partícules que produís antimatèria. Tanmateix, accelerar partícules de la mida de quarks i leptons i aconseguir fer-les xocar a altes velocitats i energies és un procés extremadament costós i complicat. Només cal observar la mida dels acceleradors actuals, alguns dels quals arriben als 27 km de llargada, per adonar-se que encabir-los en una nau seria, com a mínim, enrevessat.

Una fàbrica d'antimatèria "portable" –o com a mínim, capaç d'encabir-se en una nau com l'*Enterprise*- podria prendre com a model, no els acceleradors de partícules, sinó els raigs làsers. El novembre de 2008 la doctora Hui Chen i el seu equip, del Lawrence Livermore National Laboratory, va aconseguir crear positrons (antielectrons), fent incidir un raig làser pulsar en una làmina d'or blanc extremadament prima. Aquest làser, breu però intens, va ionitzar els àtoms de l'or, els electrons dels quals van començar a moure's a grans velocitats, alliberant quanta d'energia. En caure a nivells d'energia més baixos, aquestes electrons van alliberar l'energia restant en forma de partícules materials i antielectrons.

Tot sembla indicar que el perfeccionament d'aquest mètode podria originar antimatèria de manera més barata i amb menys espai. El problema principal es troba en l'eficiència, ja que de moment únicament s'ha aconseguit crear antielectrons. En el model de reactor que hem estudiat, la col·lisió té lloc entre protons i antiprotons, però la producció d'antimatèria mitjançant raigs làsers de protons és més complicada ja que es tracten de partícules compostes³.

Una altra possibilitat seria la creació d'antimatèria fora de la nau. Atès les enormes dificultats que presenta la seva producció en espais petits, senzillament es podria

³ L'electró és un tipus de partícula senzilla anomenada leptó. És a dir, que avui dia considerem que un electró és indivisible ja que té la mínima complexitat possible. Contràriament, els protons i els neutrons són partícules compostes. Així doncs es poden dividir encara en partícules més senzilles, que serien els quarks. Tant el neutró com el protó estan constituïts cadascun per tres quarks.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

continuar fabricant a la Terra o en altres planetes colonitzats. Diverses fàbriques i estacions es podrien situar per tot l'espai exterior, de manera que quan la nau es quedés sense combustible simplement hagués de "reomplir el dipòsit". Aquestes estacions serien com les gasolineres actuals, però d'antimatèria. Però aquesta possibilitat, apart de que no troba cap recolzament visual a la sèrie, no és compatible amb la filosofia d'*Star Trek*. L'*Enterprise* és una nau exploradora, designada a descobrir els indrets més inhòspits i desconeguts. Així doncs buscar una estació d'antimatèria en aquests paratges seria com intentar trobar una gasolinera en el Món Perdut. Senzillament impossible.

Així doncs, a quina conclusió arribem? L'*Enterprise* és una nau autònoma, i per tant les "gasolineres d'antimatèria" és una solució inviable. Suposant que algun dia s'aconsegueixi perfeccionar la tècnica de creació d'antimatèria fins a dissenyar petites fàbriques portables, seria possible que l'antimatèria que utilitza el nucli fos produïda en la mateixa nau utilitzant una part de l'energia del reactor. En aquest cas és força improbable que els acceleradors de partícules es puguin reduir a les mides adients, però és possible que l'experiment de la doctora Hui Chen ens apropi una mica més a un model viable.

Però en aquest fragment hem evitat amb cura una pregunta incòmoda però interessant: i si existeix antimatèria de manera natural? En aquest cas, i suposant que fóssim capaços de reunir aquesta antimatèria, la nau podria estar equipada amb una fàbrica d'antimatèria "portable" que només seria necessària en casos d'urgència (si durant molt de temps no s'ha trobat cap font utilitzable). Llavors, fins i tot, la producció podria ser únicament d'antielectrons; doncs seria un recurs d'última hora i no el principal, i podria alimentar correctament el reactor fins a trobar-se una nova font. I si per sort es troben aprop d'una "gasolinera d'antimatèria" sempre poden acostar-s'hi i reomplir el dipòsit, tot i que això és desviï una mica de la ruta original.

Llavors, és possible un recol·lector d'antimatèria? La resposta és sí. De fet, alguns físics creuen que l'antimatèria pot existir de manera natural (Veure peu de pàgina número 2, pàgina 11) i ja s'ha construït el primer detector d'antimatèria per intentar trobar-la a l'espai exterior. PAMELA (Càrrega per a l'exploració antimatèria-matèria i astrofísica de nuclis lleugers) es va posar en òrbita l'any 2006. Tenint en compte el rastre d'energia que origina darrere seu, les petjades de l'antimatèria són fàcils de trobar i els científics confien en que gràcies a PAMELA podran demostrar definitivament la seva existència.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Sobre el recol·lector d'antimatèria, segurament és menys complicat del que ens podríem imaginar. Serien necessàries tres esferes consecutives, que anirien de més a menys diàmetre. La primera estaria carregada positivament, de manera que atrauria els antiprotons –que tenen càrrega negativa-. Aquests arribarien a grans velocitats, i per això el radi de la primera esfera hauria de ser el més gran. Seguidament, els nuclis d'antiheli passarien a una segona esfera, on es desaccelerarien; i finalment s'aturarien en una tercera esfera, la més petita.

Els antiprotons recol·lectats serien confinats en una “ampolla magnètica” com la del reactor, on es mantindrien fins que fossin necessaris.

Aquests recol·lectors d'antimatèria, però, impliquen l'existència d'un “mapa d'antimatèria”. Si existeixen fonts naturals d'antimatèria han de ser fàcils de detectar, de manera que amb un bon exercici de cartografia seria possible aprofitar-les.

Tanmateix, cal adonar-se de que l'ordre de prioritats hauria de ser invers: el sistema principal hauria de ser la fàbrica d'antimatèria portable, i els secundaris, la recol·lecció i les “gasolineres” d'antimatèria. I és que si no fos així, i tenint en compte l'enorme potencial com a combustible de l'antimatèria, dependre únicament de les fonts naturals portaria a una lluita ferotge entre les diferents civilitzacions. Com que aquesta lluita per l'energia no sembla aparèixer a *Star Trek*, hem de suposar que compten amb una fàbrica pròpia que els permet autonomia. Al mateix temps, i coneixent la possibilitat de que existeixin fonts d'antimatèria naturals, les estacions i els recol·lectors sempre poden mantenir com a segones opcions aprofitables.

3.2. Més ràpid que la llum?

"¿Crees que la física cuántica es la respuesta? Porque... no sé, en el fondo, ¿de qué me sirve a mí que el tiempo y el espacio sean exactamente lo mismo? En fin, si le pregunto a un tío qué hora es y me dice "6 kilómetros", ¿qué coño es eso?" Woody Allen.

L'extensió de l'univers visible és horriblement enorme. Només la nostra galàxia té un diàmetre de 100.000 anys llum. Això significa que si volguéssim travessar tota la galàxia i tornar, i fóssim capaços de viatjar a la velocitat de la llum, aquí a la Terra haurien passat 200.000 anys. Evidentment, això anul·la les possibilitats de crear un creuer intergalàctic, si no és que l'interessat en qüestió volgués perdre de vista per sempre més la seva família i la Terra tal com l'havia conegut.

Però el cert és que a *Star Trek* es mouen, no només dintre la nostra galàxia amb tota naturalitat, sinó que viatgen a altres galàxies i esperen tornar a casa per retrobar-se amb els seus éssers estimats. Sabent que, per exemple, la galàxia d'Andròmeda (M31) es troba un 2,9 milions d'anys llum, cal suposar que a *Star Trek* no només són capaços de viatjar a velocitats properes a la llum, sinó que també és possible superar-la amb escreix.

Encara que la teoria relativista prohibeix viatjar a velocitats superiors a la de la llum, existeix la possibilitat d'aprofitar les pròpies deformacions de l'espai-temps per apropar-se a estrelles i galàxies llunyanes. D'aquesta manera, des de la posició d'un observador en repòs semblaria que viatgéssim a velocitats molt superiors a la de la llum, ja que arribaríem a indrets situats a milers de bilions de quilòmetres en un obrir i tancar d'ulls.

El secret d'aquest mètode no s'oposa a la teoria de la relativitat, sinó tot el contrari: n'aprofita les seves eines i construeix noves possibilitats. Així doncs, trobem dues teories que ens permeten saltar la frontera de la llum: la propulsió Alcubierre i els forats de cuc.

La propulsió Alcubierre.

La propulsió Alcubierre és un sistema que s'adapta a les necessitats de viatge que presenta *Star Trek*. Però el que ens fa pensar que podria ser el mètode que utilitzen per salvar grans distàncies no és només la seva idoneïtat, sinó el nom que donen a la sèrie al sistema de propulsió que utilitzen. Així doncs, a *Star Trek* es mouen amb “warp drive”, o moviment per distorsió. I justament és aquesta distorsió de l'espai la que utilitza la propulsió Alcubierre.

Aquesta teoria va ser proposada l'any 1994 pel físic Miguel Alcubierre. La majoria de gent, en sentir parlar d'una manera de superar la velocitat de la llum, recorre directament a la teoria de la relativitat per argumentar que és impossible. Tanmateix, la propulsió Alcubierre es situa perfectament dintre del marc de la teoria relativista. De fet, utilitza la capacitat de l'espai-temps de ser distorsionat per apropar dos punts distants, i arribar d'un a l'altre en un temps rècord.

La teoria de la relativitat general considera que l'espai-temps és un teixit, i com a tal, pot estirar-se i contraure's. Grans quantitats d'energia i massa són les que deformen el teixit de l'espai-temps, i els plecs que s'originen són les forces de gravetat que mantenen lligats els sistemes i les galàxies.

La imatge que s'utilitza generalment per a explicar-ho és un llençol en el qual situem un conjunt de boles (Veure annex 2). Podem utilitzar una bola de plàstic poc pesada i una bola de billar. Quan encara no hàgim col·locat cap d'aquests objectes al llençol, aquest serà llis, com l'espai temps si no hi hagués cap massa ni energia, en el buit. Però si col·loquem la petita pilota de plàstic, aquesta deformarà feblement el llençol. Podríem imaginar que aquesta pilota és un planeta com la Terra. Si traiem aquesta pilota i col·loquem la bola de billar, aquesta deformarà encara molt més el llençol. Seria el cas d'una estrella. Si finalment tirem la bola de plàstic en direcció recta però de manera que passi aprop de la bola de billar, la bola de plàstic s'alentirà i començarà a girar al voltant de la bola de billar formant una espiral, fins a caure-hi a sobre. Seria un paral·lelisme a la manera com giren els planetes al voltant de les estrelles. Com que en el llençol

Física vint-i-quatre vegades per segon.

existeix fregament, la pilota de plàstic es va desacelerant fins a perdre tota la velocitat i caure a sobre la bola de billar. Tanmateix, com que a l'espai exterior no existeix fregament, el planeta giraria al voltant de l'estrella de manera indefinida.

Ara imaginem que amb un llapis pintem dues creus al llençol, una a cada punta. La distància que els separa és enorme. Podríem imaginar que els dos punts són el sistema solar i una altre estrella situada a milers d'anys llum. Si el llençol no està deformat i es troba pla, la manera més ràpida d'arribar-hi serà en una línia recta que travessarà el llençol de punta a punta, i que si volguéssim resseguir hauríem invertir moltíssim temps i combustible. Això és el que passa en els viatges normals a l'espai exterior.

Com ja hem dit, l'espai-temps és com el llençol. Però no hem d'imaginar un llençol de cotó, sinó un llençol de *lycra*. És a dir, un teixit elàstic i fàcilment deformable. Si ho portem a l'extrem, podem utilitzar una goma elàstica per exemplificar el que seria el comportament d'un espai-temps lineal. Així doncs, hem de transportar les dues creus del llençol a punts en la goma elàstica. Aquests dos punts es trobarien enormement separats, com en el llençol. Però l'espai-temps que els separa no es pla ni tenaç, sinó curvilini i deformable. Si comencem a estirar amb força per un dels punts -imaginem que es el sistema Solar, on es troba una nau com l'*Enterprise*-, la goma es començarà a expandir en direcció contrària a l'altre punt. Tanmateix, l'espai entre els dos punts es contraurà, carregant-se de tensió. És a dir, darrere de l'*Enterprise* l'espai s'expandiria, mentre que al davant es contrauria. Arribaria un moment en que la distància entre els dos punts seria molt més petita que al principi. Si llavors deixéssim d'expandir l'espai de darrere, la seva tensió es descarregaria i impulsaria la nau fins a l'altre punt molt més proper, a través de l'espai contret. És a dir, de la mateixa manera que quan deixem anar una goma elàstica que està tensada aquesta fuetreja la mà del que l'estava agafant, l'*Enterprise* hauria aprofitat la tensió de la distorsió per tal d'impulsar-se a través d'un espai contret.

Aquest és exactament el sistema que proposa la Propulsió Alcubierre. Resumint: creant una distorsió local de l'espai-temps, aquest es pot estirar darrere de la nau i contreure's davant. La nau serà llavors impulsada gràcies al mateix espai-temps.

El que és important d'entendre és que aquesta mètode no viola en cap cas la relativitat d'Einstein. És un sistema per a superar la barrera de la llum des del punt de vista d'un observador, però en absolut des del punt de vista del mòbil. Per a explicar-ho tornem a utilitzar la imatge de la goma elàstica. Si aquesta goma és invisible, una persona que

Física vint-i-quatre vegades per segon.

observi des de fora no detectarà mai que està tenint lloc una distorsió de l'espai temps. Simplement veurà com una nau és disparada amb força i arriba d'un punt a l'altre en no-res. Això crearia la il·lusió a l'observador de que la nau s'ha mogut a una velocitat molt superior a la de la llum. La veritat, però, és que com que l'espai està distorsionat la nau no ha recorregut tota aquella distància. De fet, la seva velocitat real és zero, ja que la nau no és mou, sinó que simplement l'espai es deforma.

És a dir, que en tot moment cal diferenciar entre l'acceleració de l'observador extern i la d'un observador intern. Suposem dos punts A i B des d'un punt de vista extern. En un primer moment es crea una distorsió que impulsa la nau, de manera que aquesta s'accelera de zero a un valor constant a . Aquesta acceleració es mantindrà fins a la meitat del trajecte, just el punt mitjà entre A i B. En aquest instant a l'observador extern li semblarà com si la nau canviés la seva acceleració de a a $-a$. La nau seguirà amb aquesta acceleració fins a aturar-se definitivament en el punt B. El viatge d'A a B estaria complet.

Ara introduïm-nos en la pell d'un dels pilots de la nau. Al contrari del que ens podríem imaginar, la nau es troba desconnectada del món exterior. Aparentment es troba en repòs, de manera que no pateix acceleracions ni dilatació temporal.

Això és degut a diversos motius. En la propulsió Alcubierre, quan l'espai es distorsiona la nau entra en una corba del temps. Aquesta corba és sempre **geodèsica** (Veure glossari), però de manera que, impressionantment, el temps de la nau és equivalent al temps dels observadors externs que es troben en un espai-temps pla. Per tant, la nau no pateix dilatació temporal.

A més a més, l'acceleració de la nau serà sempre zero. El que es mou és en realitat l'espai-temps, en el qual la nau s'hi troba atrapada, però la nau no llisca sobre aquest espai-temps. Els conceptes de velocitat i acceleració es configuren en relació a l'espai, per tant si no es mou respecte aquest, la nau estarà en repòs, tot i que l'espai-temps si que s'acceleri (Veure annex 3). D'alguna manera seria el mateix que si volem anar d'una riba a una altra d'un riu i pugem a un vaixell en cotxe. Els únics períodes d'acceleració i desacceleració (en relació al terra que el vehicle trepitja) seran els de entrada i sortida del vaixell. Però mentre creuem el riu, tot i que ens estarem movent, l'acceleració del cotxe en relació al terra del vaixell serà zero.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

És per això que la Propulsió Alcubierre no desafia la teoria relativista. Quan la nau es veu propulsada, la distorsió també afecta a la llum que hi queda atrapada, de manera que, des del punt de vista d'un observador, aquesta estaria triplicant mil vegades la seva velocitat en l'espai pla. Però en una mateixa distorsió la nau mai podria atrapar la llum, ja que aquesta seguiria viatjant més ràpid en el teixit de l'espai-temps. La propulsió Alcubierre es basa en una idea elegant i senzilla: Res no pot viatjar en l'espai-temps a més velocitat que la llum, però la velocitat d'expansió i contracció del propi espai-temps no té límit.

Finalment, si retornem a la vida de l'astronauta dins de la nau, veuríem que casi no pateix **efecte marea** (Veure pàgina 94), excepte si la nau es situés just al centre de la pertorbació, on l'espai-temps estaria hiper-distorsionat. El trajecte d'A a B seria en general tranquil i còmode, equivalent als que apareixen habitualment a *Star Trek*.

En definitiva, per un observador extern semblaria que la nau viatgés a velocitats molt superiors a la de la llum. Tanmateix, la nau no patiria realment cap tipus d'acceleració ni de dilatació temporal. Simplement es trobaria en repòs en relació a l'espai-temps, i seria aquest el que estaria accelerat.

3,2,1...0! És possible?

Les dificultats de la Propulsió Alcubierre van molt més enllà de la comprensió. A més a més, algunes de les característiques no semblen encaixar amb el tipus de viatge que presenta *Star Trek*. Seguidament trobem algunes de les complicacions més importants a les quals ens enfrontem:

- La nau es troba **desconnectada de l'exterior**. Com hem vist, en crear una distorsió espacio-temporal la nau entra en un línia temporal diferent, tot i que coordinada amb el temps d'un observador en repòs. Però no només això, sinó que a més a més en crear la distorsió es forma una mena de “bombolla” independent, en la qual la nau només pot entrar en contacte amb allò que la bombolla ha atrapat. Això significa que en el període de viatge la nau perdria totalment el contacte amb l'exterior, i per tant no podria rebre missatges de ràdio d'altres naus, trobar-se furgonetes flotant al mig de l'espai (com al capítol “The 37's”) o investigar els planetes que descobrissin pel camí. La distorsió és

Física vint-i-quatre vegades per segon.

com una espècie d'autopista tancada de la qual no es pot sortir, a no ser que es deixi de subministrar energia.

- La **dificultat de control** de la distorsió també és un problema important. Evidentment, la propulsió Alcubierre no pot ser l'únic sistema de viatge de la nau. Com havíem suggerit abans, pot ser que l'energia de la reacció matèria-antimatèria sigui utilitzada per a escalfar gasos fins a altes temperatures, que en ser alliberats impulsarien la nau. El problema d'aquest tipus de propulsió és que es necessitaria molt de temps accelerant de manera constant per arribar a una velocitat pròxima a la llum. Tanmateix, podria ser un bon sistema de suport. Atès que és difícil calcular amb exactitud l'abast de la distorsió, cal comptar amb un mètode de propulsió per apropar-se al destí un cop la distorsió ha deixat de fer efecte. És a dir, el viatge d'A a B no és de l'estrella A a l'estrella B; sinó que el punt B es troba proper a la estrella, però no a sobre. Impulsant-se alliberant gasos calent es podria arribar al destí, i en aquest cas no caldria que la velocitat fos tan alta.

- El **concepte de velocitat no existeix!** Actualment, les dues úniques possibilitats teòriques de superar la frontera de la llum són la Propulsió Alcubierre i els forats de cuc. Però en cap dels dos sistemes el concepte de velocitat té sentit, ja que realment no es mouen sobre l'espai temps a una velocitat superior a la de la llum, sinó que distorsionen aquest teixit de manera que des del punt de vista d'un observador es crea la il·lusió que va més ràpid que la llum. Per tant, quan a *Star Trek* trobem diàlegs com el següent, extret del capítol “Momento crítico” de la cinquena temporada de *Voyager*

“*Tom Paris* [pilot]:

- - Velocidad factor 7... [Interval d'1 segon] Velocidad factor 8... [Interval d'1 segon]... 9”

La nau no està accelerant realment, com a mínim en relació a l'espai-temps sobre el qual es mou. Així doncs, el concepte de velocitat i acceleració està mancat de sentit si utilitzem com a sistema de referència l'espai-temps sobre el qual llisca la nau. El que sí que és possible i comprensible és que s'utilitzi una notació d'acceleració i velocitat per catalogar la potència de la distorsió, des del punt de vista d'un observador extern. Així doncs el concepte de velocitat o acceleració podria fer referència a un observador extern en repòs, és a dir, a l'acceleració que aparentment adquiriria la nau des del seu punt de vista, ja que no podria adonar-se de la distorsió de l'espai-temps.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

● Si fins ara hem vist indicis que sembla que puguin descartar el fet que a *Star Trek* s'utilitza la Propulsió Alcubierre, ara tractem una dificultat tècnica -tot i que no impossibilitat-. El principal obstacle al qual ens enfrontem a l'hora de posar en pràctica aquest mètode és que es necessita **energia negativa** per a fer-lo funcionar. Matemàticament es pot demostrar que aquest sistema viola tres **condicions d'energia**, la dominant, la forta i la feble (Veure glossari). Tanmateix, això no descarta necessàriament que el sistema sigui físicament impossible, sinó que indica la necessitat de **matèria exòtica** (Veure glossari). L'existència d'aquestes estranyes partícules han sigut demostrades en alguns casos, com el de l'energia negativa. Per tant, si mai s'arribés a aconseguir produir energia negativa en el laboratori, es podria utilitzar aquesta tecnologia per a mantenir estable la distorsió espacio-temporal.

Tot i que hi ha algunes contradiccions, també ens trobem algunes confirmacions de que és el sistema utilitzat a *Star Trek*. Com ja hem dit abans, la guia principal és el nom que li donen a la sèrie, doncs l'anomenen “warp drive” (viatge per distorsió), tot i que la traducció espanyola sigui “velocidad factor”. Seguidament trobem alguns diàlegs en anglès i traduïts on s'exemplifica.

○ Del capítol “El Paria”, de la cinquena temporada de *The next Generation*:
“Sáquenos de esta órbita. Fije rumbo al sistema Phelan, Warp 6.”

○ En el capítol “Los 37s”, de la segona temporada de *Voyager*, trobem el següent diàleg, en el que parlen sobre el motor de la nau:

Amelia: How fast?

Tom Paris: Warp 9.9. In your terms, that's about four billion miles a second.

Amelia: Think I could take her out for a spin?

Tom Paris: Well, uh..."

En català seria:

Amelia: A quina velocitat?

Tom Paris: Velocitat de distorsió 9.9. En el vostre llenguatge serien uns quatre bilions de milles per segon.

Amelia: Creus que podria portar-la a fer una volta?

Tom Paris: Bé, d'això..."

○ En el capítol “Momento crítico” de la cinquena temporada de *Voyager*, trobem el diàleg següent:

Tom Paris: If Voyager achieved warp ten, we could be home in as long as it takes to push a button.

Neelix: Wow!"

Traduït al català:

“Tom Paris: Si la nau pogués arribar a velocitat de distorsió deu, podríem arribar casa en el que es triga en prémer un botó.

Neelix: Uau!”

A més a més trobem altres arguments que recolzen que la propulsió Alcubierre podria ser el mètode de viatge d'*Star Trek*. Per exemple:

- La propulsió Alcubierre és, juntament amb els forats de cuc, l'únic sistema que es coneix que ens permetria arribar a altres galàxies i superar grans distàncies en un temps rècords. Sense aquest mètode hauríem d'invertir generacions per arribar a les galàxies més properes, de manera que el viatge que hem començat nosaltres l'acabarien els nostres besnèts. A més a més, el fet de que la nau no s'accelera coincideix amb l'aparent estabilitat i comoditat dels viatges especials de la *Enterprise*.
- A més a més, no existeix dilatació temporal. Aquest és un punt clau, doncs sense anar més lluny, l'objectiu de la tripulació en *Star Trek Voyager* és tornar a la Terra. Si existís dilatació temporal els habitants de la nau ja podrien dir adéu a la idea de tornar a veure els seus éssers estimats, doncs aquests ja faria temps que haurien mort. Els únics moments de dilatació temporal podrien ser aquells en que la nau accelera mitjançant l'expulsió de gasos calents, si es que mitjançant aquest mètode arriben mai a velocitats properes a la llum.
- Finalment, una de les proves més convincents és la visió que s'acostuma a veure des de la posició del pilot de la nau. Sí viatgéssim per propulsió Alcubierre, la llum que es trobés fora de la distorsió no ens atraparia, de manera que veuríem la llum provinents d'estrelles i sistemes propers com ratlles blanques davant nostre. Com que la llum no podria viatjar tan ràpid com l'espai-temps, darrere únicament veuríem foscor. Aquesta típica imatge, no només d'*Star Trek* sinó també d'*Star Wars* i altres pel·lícules de

Física vint-i-quatre vegades per segon.

ciència ficció, és una confirmació de que, si a *Star Trek* viatgen més ràpid que la llum, ho fan gràcies a la propulsió Alcubierre.



La figura 1 mostra quina hauria de ser la visió d'un pilot viatjant per Propulsió Alcubierre, imatge que es correspon a la que mostra *Star Trek*. La llum de fora la distorsió no pot atrapar la nau, i per això no es veuen imatges sinó únicament ratlles de llum blanca.

Figura 1.

En conclusió, la propulsió Alcubierre és un sistema possible tot i que implica l'ús d'energia negativa. Encara que existeixen alguns detalls que s'oposen a les propietats d'aquest tipus de viatge, en línies generals el món d'*Star Trek* s'hi adapta.

Tot i així, no cal oblidar que encara hi ha un altre sistema per a superar la barrera de la llum, un misteri que en un inici va espantar els físics però que més tard es va descobrir que podrien ser una mina d'or... Els forats de cuc.

Forats de cuc i forats negres.

És curiós que arguments que durant anys han servit a l'univers de la fantasia, alimentats per la imaginació d'escriptors i lectors però sempre apartats de qualsevol contacte amb l'autenticitat, emergeixin temps després en el món real. I llavors, la responsable d'especular-se si podrien ser possibles o no, sigui la ciència.

Viatjar a altres realitats o transportar-se a mons paral·lels és un dels somnis més antics de la humanitat. La coneguda novel·la “Les aventures d'Alicia en el País de les Meravelles” de Lewis Carroll -pseudònim del matemàtic Charles Dogson- narra com Alicia pot transportar-se instantàniament al País de les Meravelles introduint la mà en un mirall. Evidentment, aquest conte no podia escapar dels límits de la ficció en el moment de la seva creació, però, què passa avui dia? Podria estar connectat el camp d'Oxford amb un univers paral·lel, on els conills blancs porten rellotges i els gats discuteixen temes filosòfics?

Potser el mirall d'Alicia hauria de tenir matèria negativa per a ser estable, el viatge no seria tan còmode com caure dolçament per un pou ingràvid, i la imatge de innocent

Física vint-i-quatre vegades per segon.

joveneta anglesa quedaria una mica distorsionada en substituir el seu vestit per un equipament semblant al d'un astronauta; però la veritat és que el conte de Lewis Carroll seria possible teòricament. La clau es troba un altre cop en l'enorme “caixa de bombons” que ens va descobrir Einstein: la teoria de la relativitat.

És divertit saber que Einstein, en contra de totes les expectatives, va ser un científic tradicional. Tot i la originalitat i radicalitat de la seva nova teoria, Einstein tenia els seus prejudicis i no sempre era totalment objectiu. Es va oposar fervorosament a la física quàntica, que tot i ser una teoria que permet realitzar les prediccions més precises possibles, està basada en l'atzar i la probabilitat. Per argumentar en contra la seva eficàcia, Einstein deia: “Déu no juga als daus”. Després, horroritzat davant de la possibilitat teòrica de formació de forats negres, va intentar demostrar que un grup de pols còsmica i gasos mai podria col·lapsar per originar-ne un. És realment sorprenent que tot i que la llavor dels forats negres fos la seva pròpia teoria, es negués a creure en ells atesa la seva monstruositat.

Però Einstein no va ser l'únic científic que es va espantar davant del concepte de forat negre. Quan Schwarzschild va resoldre totes les equacions d'Einstein per al cas d'una estrella puntual, en un primer moment la comunitat científica no es va adonar de la importància de les seves solucions, ja que a certa distància el seu camp gravitatori era molt semblant al d'una estrella normal⁴. Però si s'observava amb detall, llavors es podien descobrir les propietats que avui dia atribuïm normalment als forats negres, i que en aquell moment van horroritzar i impressionar als físics.

La força descomunal dels forats negres, que aturava el temps i no permetia escapar-ne ni la llum, va desencadenar una convulsió científica. En un primer moment es va intentar trobar algun indici de que realment aquests cossos no es poguessin formar de manera natural, amb la participació d'Einstein mencionada anteriorment. Arthur Eddington va dir: “Hi hauria d'haver alguna llei de la naturalesa que impedís a una estrella comportar-se d'aquesta manera tan absurda”.

⁴ Karl Schwarzschild va ser un brillant astrofísic alemany que va introduir el concepte de forat negre en el món de la física. L'any 1916 va trobar la solució a les equacions d'Einstein per al cas d'una estrella puntual. Aquesta solució pot utilitzar-se com una aproximació al comportament del camp gravitatori d'una estrella real; però té les propietats d'un forat negre. Això significa que qualsevol persona que passi d'una certa zona al voltant del forat negre -el que avui dia s'anomena “horitzó de successos”- ja no en podrà sortir, doncs quedarà absorbit per la seva enorme potència gravitatòria. En descobrir el cos monstruós que s'encongia en aquesta estrella puntual, Schwarzschild va crear una equació que li permetés calcular quin seria el radi d'aquest horitzó de successos, el que avui dia alguns anomenen com a “radi de Schwarzschild”. Així va descobrir que com més massa tingués un forat negre, major seria el seu radi, i per tant més perillós seria.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Però un article de J. Robert Oppenheimer i Hartland Snyder va demostrar que realment els forats negres sí que es podien originar de manera natural. Els científics van haver d'enfrontar-se llavors a la realitat. Però tot i ser freda i aterridora, també va resultar ser monstruosament interessant i divertida.

El primer en estudiar seriosament les propietats d'un forat negre fou Ludwig Flamm, un físic vienès pràcticament desconegut que va analitzar la solució de Schwarzschild i va trobar un segon tipus de solucions, el que actualment es coneix com a “forat blanc”. Com es pot intuir, si el forat negre és un orifici d'entrada, el forat blanc és de sortida. En realitat, el forat blanc és un forat negre que viatja endarrere en el temps, i que en comptes d'absorbir tot allò que s'apropa suficientment, ho expulsa. Tot i que un forat blanc com a tal és impossible que existeixi ja que viola la segona llei de la termodinàmica, és permès en la teoria de la relativitat, i a més a més ens proporciona la primera aproximació a un forat de cuc. Així doncs, un forat blanc i un forat negre podrien estar connectats entre si per un conducte en l'espai-temps.

Aquest estudi primerenc es remunta a l'any 1916, i no va ser fins l'any 1935 (i en certa manera a contracor, doncs encara no s'havia demostrat que era inevitable lluitar contra l'existència dels forats negres) que Einstein i Nathan Rosen van donar el nom de “ponts d'Einstein-Rosen” a aquests conductes.

Tot i que l'objectiu de l'estudi d'Einstein i Rosen era utilitzar aquests conductes espacio-temporals per explicar el comportament de les partícules fonamentals, també va servir per realitzar una primera classificació dels diferents tipus de singularitats.⁵

Més endavant John Wheeler va batejar aquests túnels de l'espai-temps com “forats de cuc”, que és la manera com s'anomenen quotidianament. El nom prové d'una senzilla metàfora visual. Si un cuc es trobés a la part de dalt d'una poma i volgués arribar a l'extrem oposat, tindria dos recorreguts possibles. Podria rodejar la poma per fora, o bé travessar-la per dintre de manera més ràpida. Segurament triaria la segona, creant així un forat en la fruita. Aquest “forat de cuc” és equivalent als ponts d'Einstein-Rosen, distorsions de l'espai que uneixen dos punts allunyats en l'espai normal i que serveixen com a drecera. Utilitzant un forat de cuc sempre s'arriba abans que viatjant per l'espai pla.

⁵ La intenció d'aquests dos científics era representar les partícules fonamentals, tals com electrons, com túnels espacio-temporals units per línies de força elèctriques

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Finalment, amb la demostració de que els forats negres es podien crear de manera natural, els forats de cuc van deixar de ser un concepte prohibit i van entrar definitivament en el món popular i artístic, i en el camp d'investigació dels científics més arriscats. El primer sobre el que es va especular van ser les seves utilitats pràctiques en el món del transport. A partir d'aquí calia diferenciar entre dos tipus de forat de cuc: els **practicables** i els **no-practicables**.

Els forats negres, són en realitat, forats de cuc no-practicables.

La principal aportació en aquest aspecte es deu al matemàtic Roy Kerr, que l'any 1963 va explicar que els forats negres no col·lapsarien en estrelles puntuals com indicava l'estudi de Schwarzschild, sinó que formarien anells de rotació. Llavors, si algú fos capaç de travessar l'anell, emergiria en un univers totalment diferent⁶.

Però atès que no es pot sortir de l'horitzó de successos a no ser que es viatgi a velocitat superior a la de la llum -la qual cosa és impossible-, és inútil intentar escapar d'un forat negre. Sabent que els “forats blancs” violen el segon principi de la termodinàmica i per tant són impossibles, les aplicacions pel transport d'aquest tipus de forat de cuc són nul·les.

És curiós, especialment en el context d'aquest treball, que la troballa del primer exemple de forat de cuc practicable estigués motivada per l'argument d'una novel·la. L'astrònom i divulgador científic Carl Sagan estava intentant trobar una manera de superar la barrera de la llum en la seva obra “Contact”, quan va demanar al físic teòric Kip Thorne la seva opinió. Els forats de cuc eren la resposta més suggeridora en aquell moment, però encara no s'havia trobat cap exemple de forat de cuc practicable. Ell i els seus companys Michael Morris i Uri Ytsever van estudiar llavors la manera de mantenir obert un forat de cuc el temps suficient per a que una nau el pogués travessar. Finalment, l'any 1988 MTY van publicar un article, en el qual s'explicava com seria el funcionament d'aquesta drecera espacial. La principal diferència amb els forats negres i altres forats de cuc no-practicables, es que la seva distorsió necessita energia negativa per a funcionar.

⁶ Aquesta característica dels forats negres té la seva base en les equacions de camp relativista. Quan resollem aquestes equacions per al cas d'una estrella puntual o un anell de rotació hiper-màssic, trobem que el teixit del nostre univers s'uneix amb el d'un altre univers especular, a l'altre costat de l'espai-temps. Atès que la seva existència ve determinada per un artifici matemàtic, la presència d'un univers paral·lel a l'altre costat d'un forat negre va ser considerada durant molt temps com una curiositat matemàtica indemostrable.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

L'any 1962, John Wheeler ja havia demostrat que els forats de cuc, tal com els havien plantejat Einstein i Rosen, eren estructures espacials inestables. La força de la gravetat seria tan elevada en el camp de distorsió, que el forat de cuc es tancaria immediatament un instant després de la seva formació, sense permetre el transport ni d'un sol fotó. Era doncs impensable plantejar-se el transport d'una nau en aquestes condicions.

Però MTY van demostrar que si existís alguna manera de contrarestar aquesta força gravitatòria, llavors el transport seria possible. Evidentment, estem parlant de matèria exòtica. Una quantitat suficient d'energia o matèria negativa podria contrarestar la força gravitatòria i mantenir obert el forat de cuc, permeten així el pas d'astronautes i de naus intergalàctiques.

A partir de la publicació de l'article de MTY, s'han anat trobant un nombre in crescendo de solucions a les equacions d'Einstein, que permeten forats de cuc i que podrien funcionar amb la presència d'energia o matèria negativa. Tot i això, encara no s'ha descobert l'existència de cap forat de cuc en l'espai exterior.

Però, què impedeix la formació de forats de cuc? Que encara no n'hagem trobat no significa que no existeixin. Si són possibles en certes condicions, llavors és inevitable pensar que potser el nostre univers està unit invisiblement per una xarxa enorme i poderosa, per un entramat de fils d'aranya que connecta els indrets més distants i que, si algun dia aconseguíssim dominar, ens permetria conquerir mons desconeguts, superant les fronteres de l'inabastable.

Fils d'aranya.

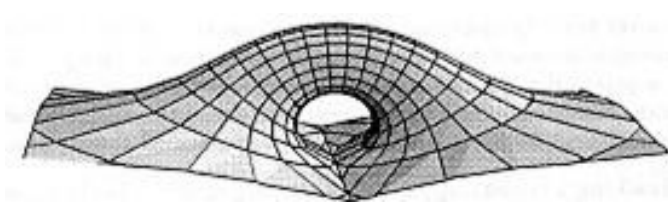
Podrem saber mai quina és la forma real de l'univers? Potser del nostre encara no, però el que és segur és que *Star Trek* ens aporta pistes suficients per intuir el trets generals del seu disseny.

Llavors, ens l'hem d'imaginar com un conjunt de bombolles de teixit elàstic? O bé com el sotabosc d'un pineda, on fulles en forma d'agulla, molsa i arrels entortolligades i pràcticament invisibles, es combinen per formar l'espai-temps? I el més important, són els humans capaços de convertir una cosa en l'altra?

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Per contestar aquestes preguntes, hem de començar classificant els diferents tipus de forat de cuc practicables que es coneixen i que apareixen en l'univers d'*Star Trek*. Generalment es diferencia entre els forats de cuc de Lorentz, i els forats de cuc euclidians:

- Els **forats de cuc de Lorentz** són els que tractarem més a fons en aquest treball, doncs es troben emmarcats en la teoria de la relativitat. Són forats de cuc practicables, a diferència del forat de cuc de Schwarzschild -el que connectaria el centre del forat negre amb un altre univers- o el pont d'Einstein-Rosen -que és inestable degut a la manca de matèria exòtica-. Poden ser de dos tipus, depenent de les regions que uneixin:



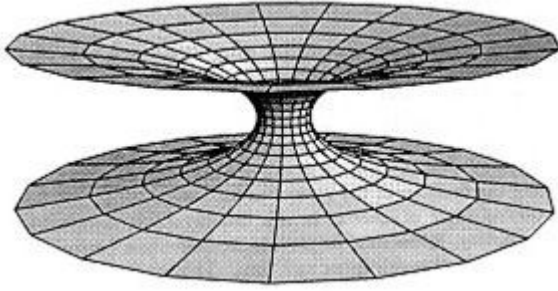
- Intra-univers. Si enllaça dues zones del mateix univers. No hem oblidar que sempre treballem en quatre dimensions, de manera que els forats

A dalt, imatge representativa d'un forat de cuc intra-univers.

de cuc no només posen en contacte coordenades espacials, sinó que també poden connectar dos temps diferents. Trobem un exemple a *Star Trek* en el capítol “El hoyo negro” de la primera temporada de *Voyager*. En aquest descobreixen un forat de cuc que està apunt de desintegrar-se, i és molt petit, però que podria estar connectat amb el quadrant Alfa i per tant portar-los ràpidament cap a casa. Envien una sonda a dintre però s'hi queda encallada, doncs no té prou espai per seguir avançant. Tanmateix, descobreixen que el forat de cuc enllaça efectivament el quadrat Delta amb l'Alfa, i que l'altra costat hi ha una nau **romulana**. (Veure glossari). Quan finalment aconseguen convèncer al capità romulà de que no són perillosos i el teletransporten miraculosament a la seva nau, descobreixen que en realitat és un habitant del passat. És a dir, que el forat de cuc uneix el quadrant Delta amb el quadrant Alfa de vint anys enrere.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

A baix, esquema 3-D d'un forat de cuc inter-univers.



- Inter-univers. Aquest tipus de forat de cuc uneixen dos universos diferents, suposant que els universos paral·lels existeixen. En realitat, la teoria de cordes - que és una de les propostes, amb diferents versions i ampliacions, per a establir una **teoria del tot** (Veure Glossari.)- deixa oberta la possibilitat de que el nostre univers coexisteixi amb un nombre infinit d'altres universos. Els forats de cuc inter-univers ens podrien transportar màgicament a un d'aquests universos diferents, on, efectivament, els conills podrien portar rellotge i els gats serien professors de filosofia. Aquest tipus de forats de cuc també apareixen a *Star Trek*. Un exemple és el capítol “El sendero”, de la segona temporada de *Deep Space Nine*, en que Kyra Nerys es veu transportada accidentalment a un univers mirall mentre està travessant el forat de cuc Bajor. Finalment aconseguix tornar al seu univers original refent el camí d'anada.

- Els **forats de cuc euclidians** són descrits en el context de la física de partícules. Existeixen en temps imaginari i estan estretament lligats als processos quàntics. Així doncs la teoria de cordes permet, en una de els seves variants, solucions exactes per a forats de cuc del tipus euclidià. Tanmateix, no els estudiarem en aquest treball atès que s'expressen en el llenguatge del camps quàntics; que és totalment diferent al de camps relativistes.

Com ja hem mencionat, l'existència de forats de cuc en l'espai exterior encara no ha sigut provada. Però en l'univers d'*Star Trek* els forats de cuc no només existeixen, sinó que a més a més estan cartografiats i s'utilitzen com una via de transport habitual. Per exemple, en el capítol “El emisario”, de la primera temporada de *Deep Space Nine*, la troballa d'un forat de cuc miraculosament estable revoluciona la vida del planeta que s'hi troba al costat, on habita la civilització Bajor.

Com es mantenen oberts tots aquests forats de cuc? Ja hem vist abans que és necessària la presència de matèria exòtica, però aquesta és difícil de trobar i encara més de crear. Llavors, quines són les probabilitats de que nosaltres també descobrim forats de cuc a

Física vint-i-quatre vegades per segon.

l'univers exterior? És només matèria de fantasia o *Star Trek* es recolza en una possibilitat raonada?

David Hochberg i Thomas Kephart de la universitat Vandebilt argumenten que en teoria, forats de cuc originats de manera natural podrien ser possibles. Durant els primers instants de l'Univers la pròpia gravetat podria haver originat zones amb suficient energia negativa per a mantenir-los estables. Atès que són d'origen natural, aquests forats de cuc es mantendrien oberts de manera autònoma, alimentant-se de l'energia negativa formada pel Big Bang. La proposta d'*Star Trek*, doncs, no és en absolut forassenyada. L'existència de forats de cuc a punt de tancar-se per la manca d'energia negativa, d'altres massa petits, i alguns miraculosament estables i amb un diàmetre d'entrada i de sortida suficientment gran són cossos possibles en l'espai exterior.

En conclusió, si ens hem d'imaginar l'univers d'*Star Trek* d'alguna manera, és com un laberint on s'enllacen bombolles elàstiques i agulles afilades, suspès màgicament per uns fils d'aranya invisibles que neixen i es desintegren constantment.

Autopistes per l'espai.

Sabem doncs, que els forats de cuc poden existir realment -estabilitzant-se amb energia negativa- i que podrien ser originats de manera natural. Però tenint en compte que nosaltres encara no hem pogut detectar cap forat de cuc en el nostre univers, és inevitable preguntar-se com ho fan a *Star Trek* per descobrir-ne un a cada cantonada. Viuen en un univers diferent del nostre, o és que ells mateixos són els artesans d'aquests forats de cuc?

En primer lloc, cal puntualitzar que seria possible “salvar” aquells forats de cuc que estiguessin a punt de desintegrar-se per la manca de matèria exòtica. Suposant que a *Star Trek* utilitzin la Propulsió Alcubierre -que tot sembla indicar que és així-, cal que dominin la producció d'energia negativa. Per tant, podrien utilitzar la mateixa tecnologia per a estabilitzar forats de cuc en desintegració.

Aquest sembla ser el sistema que explica l'enorme quantitat de forats de cuc que apareixen a l'univers *Star Trek*. En realitat, l'única distorsió estable de manera

Física vint-i-quatre vegades per segon.

permanent que hi trobem és el forat de cuc de Bajor, que connecta el quadrant Alfa i Gamma. Podem deduir que, com que ja tenen una tecnologia per a superar la barrera de la llum -la Propulsió Alcubierre- i com veurem posteriorment, utilitzar forats de cuc comporta certs perills, l'ús d'un forat de cuc no compensa l'enorme despesa energètica necessària per al seu manteniment. Per això únicament utilitzen forats de cuc en cas d'emergència i no inverteixen esforços en mantenir-los vius.

Tanmateix, també apareixen a *Star Trek* certs intents de crear forats de cuc artificials. Per exemple, en el capítol “El explorador” de la sisena temporada de *Voyager*, el tinent Barclay, obsessionant per entrar amb contacte amb la nau *Voyager*, intenta crear un forat de cuc artificial concentrant una gran quantitat d'energia i un raig sub-espacial. Finalment ho aconsegueix durant un espai molt petit de temps, però suficient per a poder transmetre un missatge de veu.

No podem oblidar, doncs, que nosaltres mateixos podríem ser els arquitectes de l'espai exterior. Els instruments necessaris per aconseguir-ho són cars i gairebé inassolibles, però no impossibles. Amb la quantitat d'energia suficient seríem capaços de construir autopistes intergalàctiques.

Però ningú ha dit que sigui una empresa fàcil. El primer requisit és una quantitat d'energia d'una magnitud esfereïdora, que es coneix com energia de Planck, i és extremadament difícil de produir. Fins i tot considerant les fabuloses quantitats d'energia alliberades en els col·lisionadors actuals ens hi trobem a milers d'anys llum.

En segon lloc, seria necessària una bona quantitat de matèria exòtica. Matthew Visser, un físic de la universitat de Washington, especula que seria necessària l'equivalent a una massa de Júpiter, però de matèria negativa. Si les dificultats a l'hora de manipular aquesta quantitat d'energia positiva ja serien enormes, no cal parlar-ne si es tracta de matèria negativa.

Evidentment, aquestes condicions s'escapen de els nostres capacitats i de les de la federació a *Star Trek*. Però tot i així és interessant saber que no és un procés impossible; i que tot i que ara no comptem amb les eines necessàries per fer-lo possible, en futur llunyà podria arribar a materialitzar-se com un somni fet realitat.

A través del mirall.

Un cop demostrat que un univers secretament enllaçat per forats de cuc com el que presenten a *Star Trek* seria possible, i certament podria ser el nostre univers mateix; només ens queda una pregunta per respondre. Com es viatja a través d'un forat de cuc?

És inevitable plantejar-se de tant en tant com la física sembla estar especialment dissenyada per destruir els nostres projectes més estudiats, enderrocar les propostes més originals i dificultar fins a l'impossible les empreses més divertides i interessants. Però com indica la paradoxa de Murphy:

“Siempre es más fácil hacerlo de la forma más difícil”.

Allò que s'apropa a l'impossible mai està lliure de dificultats, no només en la seva concepció, sinó especialment en la seva elaboració. Però encara que sembli mentida, inventar ja és la meitat del camí. Les dificultats tècniques sempre són importants, i alenteixen, modifiquen i a vegades semblen arribar a impossibilitar una teoria; però poques vegades acaben per enderrocar-la. Generalment superar problemes tècnics és una qüestió de temps i pràctica, fins que es troba la fórmula exacta per a que la teoria es faci realitat.

Així doncs podríem recórrer a la saviesa popular per justificar els perills de travessar un forat de cuc, i dir: *“Quién algo quiere algo le cuesta”*. I és clar, superar la frontera de la llum és una proesa que no en queda exempta.

Seguidament veurem alguns dels problemes als quals s'hauria d'enfrontar Àlicia si volgués travessar el seu mirall, i com són tractats a *Star Trek*:

- Estabilitat del forat de cuc. És un dels principals problemes relacionats amb la utilització de forats de cuc, doncs aquests precisen la presència d'energia o matèria negativa. En teoria, aquest obstacle hauria de poder-se superar fàcilment, docs la nau necessita un productor de matèria exòtica per a la propulsió Alcubierre, que també podria utilitzar per a estabilitzar forats de cuc en decadència.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

- Radiació. La presència d'energia negativa lluitant contra una enorme força de gravetat convertirien l'entrada del forat de cuc en un indret semblant a la boca de l'infern. La radiació seria tant alta que qualsevol que volgués travessar-lo correria el risc de morir en l'intent.

Per a compensar aquesta perillosa radiació caldria una protecció potent. Els escuts de la nau podrien comptar amb una versió avançada de la fotocromàtica actual. Aquesta tecnologia utilitza molècules que poden existir en dos estats diferents. En el seu estat original la molècula és transparent -de manera que deixa passar la llum-, però quan rep radiació ultraviolada es transforma en opaca -impedint l'entrada de radiació-. Avui dia aquesta tecnologia té una influència de curt abast: ulleres de sol, roba, emmagatzematge d'informació i química supramolecular (en la qual s'utilitzen com a interruptors en miniatura. És a dir, com que detecten la presència o la manca de radiació, poden activar o desactivar certs mecanismes, com per exemple les persianes d'un hivernacle). Però una versió sofisticada de fotocromàtica seria possible en un futur pròxim. Aquesta podria actuar contra freqüències superiors a la ultraviolada, i protegiria la nau d'una part de les radiacions del forat de cuc. Apart d'això, les parets de la nau haurien d'estar fetes d'un material resistent i aïllant, semblant al que s'utilitzen en les centrals nuclears per mantenir protegit el reactor. Les pantalles protectores actuals estan fetes de formigó, plom, acer, o vidres especials que incorporen petites quantitats de plom. Aquests mateixos materials, en l'espessor adequada, seria el millor escut contra el forat de cuc.

Però tot i així travessar un forat de cuc no seria, ni de bon tros, un procés tan senzill com el que apareix a *Star Trek*. Caldria assegurar-se de que els perills a l'hora de travessar-lo són mínims, i per tant seria necessari un estudi previ de les condicions i les capacitats de la nau. En aquest s'haurien de mesurar les radiacions emeses pel forat de cuc, per tal de garantir que la nau les podrà suportar i no perjudicaran a la tripulació. En segon lloc, s'haurien de preparar els motors per intentar travessar-lo amb el mínim temps possible, atès que l'efecte de les radiacions augmenta amb el temps d'exposició. Evidentment, no es podria utilitzar la propulsió Alcubierre per travessar un forat de cuc, però s'hauria d'intentar aconseguir el màxim impuls mitjançant el mètode tradicional -expulsar gasos calents-. Això ens porta a destacar un error que apareix de manera freqüent: quedar-se "encallat" en un forat de cuc significa una mort gairebé segura. Una nau que es quedés massa temps atrapada en el forat de cuc acabaria sent destruïda per la radiació, doncs aquestes estan dissenyades per suportar fins a un valor màxim, i més

Física vint-i-quatre vegades per segon.

enllà d'aquest es comencen a degradar. Per tant, seria molt important assegurar-se de que el forat de cuc té les mides adients. Un exemple d'una situació en la que no tenen en compte les dimensions del forat de cuc, i conseqüentment, el radar que hi han enviat s'hi queda atrapat, el trobem en el capítol “El hoyo negro” de la segona temporada de *Voyager*. Una cita que recolza aquesta afirmació és la següent, en la qual parlen sobre el microradar que han enviat a l'interior del forat de cuc:

“Harry Kim: ¡Está trabado!

Janeway: ¿Trabado?

Harry Kim: Si, en una junta gravitacional. Y como el hoyo negro esta en decadencia, esas juntas son increíblemente densas. Ese microradar nunca saldrá libre. [...]”.

Val a dir que la situació física que presenta aquesta cita és realment possible. La última frase és especialment encertada, doncs és cert que en un forat de cuc en decadència (a causa d'una manca d'energia negativa), la gravetat seria molt elevada i per tant seria extremadament difícil, sinó impossible, treure el microradar.

- Destí dels forats de cuc? Finalment, és la última pregunta a la qual ens enfrontem. Si un forat de cuc no està cartografiat però el volem utilitzar, com sabem on ens condueix? Es forats de cuc poden enllaçar tan petites com grans distàncies. Però hi ha alguna pista sobre el punt exacte a on ens condueix?

Una manera de saber-ho seria enviar un missatge a través del forat de cuc i esperar una resposta de l'altre costat. Tanmateix, aquest seria un procés llarg i fatigant, ja que el missatge hauria de viatjar a la velocitat de la llum i per tant podria ser que tardés força temps en ser rebut i respost. És a dir, si hi hagués sort i es trobés una nau aprop de la sortida del forat de cuc -i suposant que aquesta es dignés a contestar el missatge- no hi hauria d'haver cap problema perquè en qüestió de minuts podrien localitzar la seva posició. Però si no fos així, el temps d'espera podria arribar a ser interminable. Un exemple d'aquest sistema el trobem en el capítol “El hoyo negro”, de la primera temporada de *Voyager*. En aquest episodi troben un forat de cuc desintegrant-se (segurament a causa d'una manca d'energia negativa), però que els podria tornar a casa seva, al quadrant alfa. Llavors envien un missatge a través del forat de cuc i detecten una nau a l'altre costat, que es informa que la distorsió connecta amb el quadrant alfa però de vint anys enrere. El que és interessant d'aquest capítol, apart de com

Física vint-i-quatre vegades per segon.

descobreixen el destí del forat de cuc, és el fet que aquest forat de cuc no es troba cartografiat, com demostra la cita següent:

“*Diario de la capitana Janeway*: La tripulación ha estado buscando constantemente anomalías que pudieran ayudarnos a acortar el viaje de retorno a casa. El oficial Kim ha anunciado hoy un excitante descubrimiento: una distorsión subespacial que podría ser un agujero de gusano. [...]

Janeway: [referint-se al possible forat de cuc] Creo que sí es uno

Chakotay: ¿Será suficientemente grande para entrar? Y si es así, ¿dónde nos llevaría? [...]

Janeway: Teniente, registre las coordenadas y cambie el curso.

Tom Paris: A la orden capitán. Le puedo sugerir, si da resultado, requerir al Comité Astronómico de la Federación que denomine oficialmente este agujero de gusano con el nombre de... ¿Harry Kim?”

Una altra possibilitat per a conèixer el destí d'un forat de cuc és que la Federació tingui una xarxa de nanonaus que es dediquin a cartografiar i explorar l'espai exterior. Aquestes nanonaus serien dispositius minúsculs amb capacitat per rebre, processar i enviar informació. Tenint en compte la seva mida atòmica, serien molt barates de fer i pràcticament indetectables, de manera que podrien existir-ne milions de models en l'espai exterior. La presència d'una nanonau amb aquestes propietats és més probable, i explica com la majoria de vegades poden arribar a conèixer el destí d'un forat de cuc no cartografiat.

Passar a través del mirall no seria fàcil, i caldria un estudi més elaborat del que acostuma a aparèixer a *Star Trek*, però seria factible.

De manera sorprenent, les propostes d'*Star Trek* semblen confirmar-se en teories científiques. El motor d'antimatèria i superar la barrera de la llum són fites possibles. Fins on arriba la veritat en l'univers *Star Trek*? Sens dubte, la història no s'acaba aquí.

3.3. Raig Tractor.

El funcionament del raig tractor és sens dubte un dels secrets més ben guardats de la ciència-ficció. El ventall complet de les seves propietats encara és un misteri, però la seva eficiència irreprotxable i la metodologia sofisticada i elegant amb que es du a terme són capaços de silenciar immediatament totes les crítiques.

Però, i l'absència d'observacions científiques? És deguda a que es basa en una tecnologia ja existent? O és la por de perdre la màgia d'un encanteri perfecte, el que ens obliga a apartar-ne els ulls i a confiar en la saviesa i la sinceritat dels autors de ciència-ficció? Sigui quina sigui la resposta, cal plantejar-nos una altra pregunta: És realment un raig tractor possible?

Propietats del raig tractor.

La popularitat del raig tractor és deguda principalment al cinema i la televisió, més que no a la literatura. *Star Trek* i *Star Wars* han sigut els grans responsables de promocionar aquest feix d'energia desconeguda, generalment de color blau o verd, capaç de crear un camp de força sorprenentment potent i manipular els objectes més diversos. La majoria de gent accepta el raig tractor com una peça més de l'invisible món de forces que manté cohesionat el nostre univers, de la mateixa manera que no discuteix l'existència del fil ocult que atrau dos imants o ens manté amb els peus al terra. Però com veurem a continuació, manipular aquests fils de força és un procés complicat.

Tot i que a vegades apareixen algunes contradiccions, a *Star Trek* podem destacar dos propietats principals:

- **Camp de força atraient.** És la funció més habitual, coneguda popularment com l'eina que utilitzen els extraterrestres per abduir els habitants de la Terra, o els combatents d'*Star Wars* per atrapar naus de l'enemic. Un exemple a *Star Trek* el trobem en el capítol "Gravedad" de la cinquena temporada d'*Star Trek*, en que una nau alienígena

Física vint-i-quatre vegades per segon.

atrapa l'*Enterprise* amb un raig tractor, suposadament per a evitar que s'endinsi en un camp de força gravitatòria del qual és impossible sortir-ne.

- **Camp de força repulsiu.** En aquest cas es pot anomenar *raig repulsiu* (en anglès, *pressor beam* o *repulsor beam*). Com ja indica el nom, la seva funció no és atraure objectes sinó tot el contrari, apartar-los. Un exemple del seu ús el trobem al capítol “Causa y Efecto”, de la cinquena temporada de *The Next Generation*, en el que mitjançant el raig repulsiu alteren el rumb d'una nau que es troba a punt de xocar amb l'*Enterprise*. La següent frase textual recolza aquesta afirmació: “*Data*: Capitán, con el rayo tractor podemos alterar la trayectoria de la nave.” Cal destacar, però, que en capítol segueixen anomenant-lo *raig tractor* (en anglès, *tractor beam*). Malgrat aquesta contradicció, podem deduir que es tracta d'un raig repulsiu pel fet que en utilitzar-lo la nau no s'apropa a l'*Enterprise*, sinó que se n'allunya.

Les aplicacions que apareixen del raig tractor, tan repulsiu com atractiu, abracen un gran ventall de possibilitats.

Com podem imaginar, les primeres són de tipus militar. Un raig tractor com el que apareix a *Star Trek* permetria segrestar naus enemigues, fixant-les i impedit que s'escapin; o fins i tot persones concretes, que podrien ser alts comandants de l'exèrcit. El raig repulsiu podria mantenir allunyades aquelles naus o planetes que els interessi evitar, i variar-ne el rumb si s'apropen massa. Un domini especialitzat d'aquesta tecnologia podria permetre fins i tot manipular el rumb d'una nau enemiga per a que xoqui amb algun cos determinat i es destrueixi, desviar torpedes dels oponents i canviar el rumb dels propis en el cas de que la nau enemiga canviï de posició. Fins i tot podria ser possible deteriorar les naus enemigues gràcies a una combinació dels dos raigs, tractor i repulsiu, de manera que mentre un atrau una part de la coberta de la nau, l'altre repel la que es troba immediatament al costat. D'aquesta manera s'originarien fissures importants en la superfície de la nau que podrien danyar també el seu interior.

El raig tractor i repulsiu també pot ser una eina útil en el món del transport. Molt sovint és utilitzat per facilitar l'amarratge de naus al port de l'*Enterprise*, i el de la pròpia *Enterprise* en estacions superiors o planetes. Una altra funció, anunciada anteriorment, és transportar els habitants d'un planeta a dins la nau sense la necessitat d'un aterratge. El que converteix aquesta aplicació en la més àmpliament coneguda i sobretot, temuda,

Física vint-i-quatre vegades per segon.

és que aquest sistema pot ser utilitzat no només sense necessitat d'aterrar, sinó també sense necessitat de demanar permís als habitants corresponents. En aquest cas *Star Trek* també s'ocupa de plasmar aquest pressentiment general de que els humans podríem ser abduïts inesperadament sense deixar cap rastre, i que fins i tot és possible que això ja hagi passat. En el capítol "Los 37s", de la segona temporada de *Voyager*, la tripulació descobreix un grup d'humans que porten més de 400 anys en **animació suspesa** (Veure glossari). Aquests humans havien sigut abduïts per una raça alienígena l'any 1937, i entre ells es troba la famosa aviadora Amelia Earhart. Altres humans abduïts posteriorment i utilitzats llargament com a esclaus van revoltar-se finalment contra la raça alienígena, i ara vivien en pau en una nova Terra.

Tanmateix, l'ús del raig tractor en relació a habitants de planetes no té per què ser sempre malintencionat. La realitat és que a l'hora de transportar els passatgers d'una nau a l'estació i viceversa, l'ús del raig tractor podria estalviar temps, combustible i un bon grapat de maldecaps.

El cert és que podríem seguir incansablement anomenant aplicacions del raig tractor, com a mínim, amb els propietats que presenta a la sèrie *Star Trek*. Amb una petita dosi de creativitat podríem ampliar i millorar algunes de les ja anomenades. Però és que a més seria possible transportar el raig tractor al món quotidià, fet que suposaria una revolució completa de la societat tal i com la coneixem.

Tanmateix, totes aquestes propostes són en realitat especulacions, ja que no sabem si és possible una tecnologia amb els propietats del raig tractor. Quines són, doncs, les aportacions de la ciència en aquest sentit?

A l'ombra de la ciència.

"¡Triste época la nuestra! Es más fácil desintegrar un átomo que un prejuicio." Albert Einstein.

La ciència és, sens dubte, una de les disciplines més idealitzades en el món actual. Cada cop més se li atorga un valor de dificultat, rigor i sobretot, veritat, que no sempre té. Això no vol dir que el món científic no s'esforci per complir aquests ideals -tot el

Física vint-i-quatre vegades per segon.

contrari-, però la realitat és que no són absoluts, i sempre existeix un component social i polític que dificulta l'aplicació completa del mètode científic.

Però la veritat és que la majoria de gent ignora aquest caràcter vacil·lant de la ciència, en que totes les teories són certes fins que es demostri el contrari, però la verificació directa no existeix. És divertit observar com a poc a poc la paraula *ciència* es va introduint en els camps més variats i de les maneres més inusuals. Ciències polítiques o ciències socials són carreres que demostren la seva professionalitat només amb el nom. La ciència s'ha convertit també en un dels recursos habituals de la publicitat, principalment de productes farmacèutics, cosmètics, alimentació i higiene; fent referència així a la seva eficiència rigorosament comprovada.

Només un petit grup de curiosos coneixen alguns dels episodis més controvertits de la història de la ciència. La guerra freda representa una mina d'or en aquest aspecte. En una fervorosa cursa armamentista i espacial, els Estats Units i la Unió Soviètica van explotar tots els camps d'investigació possibles, rallant el ridícul. Recentment, la pel·lícula *Los hombres que miraban fijamente a las cabras (The men who stare at goats)* narra un d'aquests episodis ocults, en el que s'explica la creació d'un “batalló de terra” americà format per “monjos guerrers” capaços de dominar tècniques paranormals com la levitació, la capacitat de moure objectes pensant en ells o el poder per travessar murs. Tot i que avui dia es presenta la creació d'aquest cos militar com “hipotètic”, no seria estrany que fos del tot real. La URSS tampoc es va quedar enrere en la investigació de mons desconeguts, però en la política de confidencialitat que implicava el règim comunista, pocs d'ells han sortit a la llum.

En un intent de sanejar el seu historial, el propi món científic ha intentat separar la ciència ordinària del que s'anomena *pseudociència*. En aquesta última entren tots aquells experiments que aparentment no compleixen totalment un criteri científic, o que no han pogut ser repetits per autors diferents (com a mínim, amb els mateixos resultats). El que és curiós, i la raó per la qual en parlem en aquest treball, és que els Estats Units i la seva pseudociència són la única font que fa referència al raig tractor. Tenint en compte les utilitats pràctiques que podria tenir aquesta tecnologia, resulta sorprenent que no existeixi cap estudi científic -classificat com a seriós- que hagi analitzat la possibilitat de creació d'un raig tractor, al menys per argumentar si és viable o no.

Així doncs, potser cal replantejar-nos el significat de pseudociència. La creació d'un “batalló de terra” sona inevitablement absurda; però la realitat és que, de la mateixa

Física vint-i-quatre vegades per segon.

manera que la ciència-ficció, la pseudociència és a vegades la única que s'ocupa de la investigació de temes marginals o que han sigut descartats categòricament com impossibles. És molt provable que una gran majoria de les teories classificades com pseudociència no compleixin rigorosament el mètode científic, però el que és important és que, no per això, la ciència ha d'ometre tractar els mateixos temes. El que volem emfatitzar és que la diferència entre *ciència* i *pseudociència*, ha de raure en el mètode, no els temes estudiats.

Seria interessant, doncs, que el món científic donés una oportunitat a aquests subjectes oblidats o enterrats sota el nom de “pseudocientífics”. Alguns d'ells ja han fet el canvi i ara surten a la llum com gran revolucions. Per exemple, la invisibilitat s'ha recuperat de l'armari de “fites impossibles” per a fer-se realitat en el laboratori, tot i que encara es troba en un estat primerenc. Un “mantell d'invisibilitat” com el de Harry Potter és molt difícil de reproduir exactament, però com a mínim avui dia sabem que les seves propietats sí que són possibles, amb un aspecte diferent.

Malgrat les limitacions que ja hem anomenat, seguidament intentem respondre a la pregunta principal d'aquest apartat: és possible un raig tractor? I si és així, quines són les seves limitacions?

Investigant l'impossible.

Algunes de les respostes proposades des del camp de la pseudociència, i que expliquen el funcionament del raig repulsiu, són les següents:

- Robert L. Forward va intentar demostrar que es podien produir breus impulsos gravitatoris, de tipus repulsiu, en l'eix d'un tub espiral enrotllat en forma de *donut*, al centre del qual hi hauria matèria fortament condensada i accelerada. Suposant que aquests impulsos poguessin ser amplificats i guiats a plaer, podrien convertir-se en un sistema semblant al raig repulsiu.

- Walter Dröscher va predir que era possible crear un camp de força repulsiu fent girar un anell al voltant d'un fort camp magnètic. Aquesta suposició es basa en l'estudi de Burkhard Heim, un físic teòric que va treballar en una teoria de camp unificat, però que avui dia es troba envoltat de crítiques i no és completament acceptat en el món científic.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Entre 1955 i 19574 hi van haver fortes controvèrsies a Estats Units sobre l'existència de varis programes d'investigació de *gravity control propulsion* (en català, control sobre la propulsió gravitatòria) subvencionats per l'estat. Encara que és força probable que fos veritat, no existeixen proves contundents que ho confirmin. Paral·lelament, les afirmacions científiques que hi guarden relació mai han sigut comprovades, així que estan mancades d'un valor real.

Creences populars.

Si busquem llavors la justificació que ofereix la sèrie per al funcionament del raig tractor, trobem que totes les respostes es troben dintre el camp gravitatori. De fet, una de les primeres possibilitats que a tothom se li acudeix quan parlem de raig tractor és que es tracti de força gravitatòria.

Existeixen dues possibilitats si intentem representar el raig tractor com un feix de força gravitatòria:

- La primera seria crear una distorsió local, focalitzant una gran quantitat d'energia o de matèria en un punt concret, de manera que l'espai es deformés i els objectes propers es veiessin atrets cap aquest punt. Tanmateix, existeixen varis problemes si tenim en compte aquesta possibilitat. La primera és que la força de gravetat és terriblement dèbil. De fet, de les quatre forces fonamentals que existeixen -nuclear forta, nuclear dèbil, gravitatòria i electromagnètica- la gravetat és la més feble de totes. Això significa que s'hauria d'invertir una gran quantitat d'energia per atraure els objectes més insignificants. En segon lloc, la força gravitatòria no és unidireccional. És a dir, imaginem un cotxe amb una persona a dintre que es troba en un planeta. L'*Enterprise* vol capturar el conductor, que en realitat és un tinent romulà amb males intencions. Si la tripulació de la nau intentés capturar el tinent mitjançant un raig tractor, el resultat seria que l'*Enterprise* s'acabaria estavellant contra el planeta per on aquest condueix. La força de gravetat que s'originaria no només estiraria el planeta cap a la nau, sinó que a més a més atrauria l'*Enterprise* cap al planeta. El problema és que els efectes en termes d'acceleració serien molt més potents per a l'*Enterprise* que per al planeta. Això és degut a la segona llei de Newton, segons la qual una força produeix una acceleració en funció de la massa. Concretament: $\text{Força} = \text{massa} \cdot \text{acceleració}$, de manera que:

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Acceleració = força/massa. Per una mateixa força, l'acceleració augmenta en relació a la disminució de la massa⁷. Per tant, l'acceleració que patiria el planeta seria inapreciable, mentre que la de l'*Enterprise* seria suficient per estavellar-la contra aquest. D'aquest exemple també se'n pot derivar un tercer problema. Aquest tipus de raig tractor no és discriminatori, i per tant és impossible atraure objectes concrets. Tots els cossos que es troben al voltant pateixen una acceleració en direcció a l'*Enterprise*, augmentant la seva potència en funció de la massa. Per això, en l'exemple anterior seria impossible treure el conductor de dintre l'automòbil, doncs tots dos cossos es sentirien atrets cap al centre de gravetat de la nau; i evidentment encara seria més difícil treure'l del planeta.

Però el problema principal que planteja aquest tipus de raig tractor és molt més greu i profund. És un problema de base, ja que actualment no es coneix cap sistema per a incrementar la massa d'un objecte, de manera que la seva potència gravitatòria també augmenti. Sense la possibilitat d'intensificar els efectes gravitatoris de la nau, el disseny d'una tecnologia d'aquesta classe no té sentit.

- L'altra opció possible, en el context en que la font del raig tractor és una força gravitatòria, és crear un feix de gravitons. El gravitó és una partícula fonamental encarregada de la transmissió de la gravetat. Tanmateix, la seva existència només és hipotètica. Tot i que ha sigut predita per la majoria de models de gravetat quàntica -incloent-hi la teoria de cordes-, encara no ha pogut ser detectada per cap accelerador de partícules. A causa de la poca energia dels gravitons i als efectes inapreciables que ocasionen, la seva detecció és extremadament difícil. Però no es tracta únicament d'un problema tècnic, doncs el cert és que la controvèrsia sobre les característiques i el comportament d'un gravitó engloba també el món matemàtic. De fet, el desenvolupament de la teoria quàntica gravitatòria s'ha vist aturat per alguns dels problemes que planteja el comportament d'aquests gravitons, que seria completament diferent al d'altres partícules encarregades de transmetre les forces fonamentals, com els fotons. La gravetat, tot i ser la força més dèbil de totes, també és de les més complicades; i avui dia sembla escapar-se de la teoria quàntica i de poder ser descrita per la interacció entre partícules.

Atès que encara no s'ha demostrat la seva existència, parlar d'un feix de gravitons és, en certa manera, com construir castells sobre l'aire. Tanmateix, si algun dia es confirmés

⁷ Atès que la massa es troba en el divisor de la fracció, com més petit és el seu valor, més gran és el quocient, és a dir, l'acceleració.

que són reals, llavors potser ens podríem plantejar la creació d'un feix de gravitons. En aquest cas, s'hauria de comprovar que es poden manipular lliurement. Tot i que alguns científics han recolzat que aquesta podria ser la resposta al raig tractor, no es troba lliure de controvèrsia. Des del moment en que en la relativitat la gravetat és traduïda com una deformació de l'espai-temps, es necessita un cos energètic que produeixi aquesta deformació. Utilitzar el raig tractor significaria eliminar o reduir aquesta font de deformació, sistema que és incompatible amb les lleis de la física tal com les coneixem avui dia.

En conclusió, la resposta donada per la pròpia sèrie -que la font del raig tractor és la força gravitatòria- es troba força lluny de poder ser completa. Les dues possibilitats contemplades expliquen com es podria alterar la gravetat sense l'existència de la massa necessària per fer-ho, la primera opció des del punt de vista relativista i per tant parlant de deformacions de l'espai-temps, i la segona des d'un punt de vista quàntic i entenent la gravetat com una partícula. La realitat, però, és que totes dues es basen en una possibilitat prohibida per la física, i per tant impossible.

Existeix, però, una última possibilitat. És una proposta senzilla i raonable, que podria cobrir una gran part de les propietats del raig tractor. Es tracta d'utilitzar la força electromagnètica.

És curiós que generalment s'associï el raig tractor amb la força gravitatòria, tot i ser la més dèbil de les forces fonamentals. Probablement és degut a que també és la més observable, la que ens envolta en el món quotidià i ens trenca els plats, ens obliga a posar baranes als balcons i converteix la possibilitat de “flotar en l'aire” en un somni per la majoria, i un luxe per a uns quants afortunats.

Malgrat que la importància física és la mateixa per a les quatre forces fonamentals, la gravetat és la que gaudeix de més popularitat. La nuclear forta, tot i ser la que manté units els nuclis atòmics i per tant permet l'existència de l'univers i la vida tal com la coneixem, és generalment poc mencionada. La seva manca de protagonisme en el món quotidià és comprensible, atès el seu camp d'acció infinitament petit, reduït a distàncies subatòmiques. La nuclear dèbil també és de curt abast i per tant pateix un problema semblant. Tot i ser unes 10^{13} vegades més feble que la força nuclear forta, les seves

Física vint-i-quatre vegades per segon.

repercussions en el món humà són majors, doncs és la responsable de la desintegració beta, i conseqüentment està associada a la radioactivitat.

Però fins i tot dintre de les forces de llarg abast, la gravetat es queda amb la millor posició. L'electromagnètica és considerada un invent curiós: ens permet enganxar els horaris a la nevera, és la pila inesgotable de els brúixoles i fa que l'aigua s'escoli en direccions oposades a l'hemisferi nord que al sud.

Així doncs, el que és divertit és que, tot i ser la més feble de totes, sempre s'acostuma a atorgar a la gravetat una posició privilegiada. Al mateix temps també és una reacció natural, ja que la força electromagnètica no és la responsable dels accidents d'avió.

Però com ja hem vist, és inviable utilitzar la gravetat com a font per al raig tractor. Aquest cop el protagonisme se l'endú la força electromagnètica.

Jugant amb imants.

Utilitzar el raig tractor en aquest cas seria tan fàcil com jugar amb dos imants. Per a atreure un objecte caldria col·locar aprop els dos pols oposats: d'aquesta manera s'atraurien. Si volguéssim produir l'efecte contrari, hauria de ser el mateix pol. Un sistema tan senzill com aquest traduït a gran escala, seria un raig tractor perfecte.

L'avantatge que presenta utilitzar la força electromagnètica en comptes de la gravitatòria és que per augmentar la intensitat de la força no cal que incrementem la massa del cos, sinó únicament la potència dels camps elèctrics. Mentre que manipular la massa es troba fora de els nostres capacitats, dominem les tècniques necessàries per treballar amb energia i electricitat.

Així doncs, la força que origina un camp magnètic es pot calcular a través de la següent equació:

$$\vec{F} = q(\vec{v}) \times \vec{B}$$

En que F és el vector força, v el vector velocitat d'una partícula carregada en moviment i B el vector del camp magnètic.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

A partir d'aquesta equació deduïm que trobem dues maneres d'incrementar la força del camp electromagnètic:

- La primera és augmentar la velocitat de cada partícula carregada, incrementant la diferència de potencial del circuit elèctric. En un camp elèctric el diferencial d'energia potencial es converteix en energia cinètica segons l'equació següent:

$$Energia\ potencial_{final} - Energia\ potencial_{inicial} = \frac{1}{2} \cdot massa \cdot velocitat_{final}^2 - \frac{1}{2} \cdot massa \cdot velocitat_{inicial}^2 .$$

Aquesta situació és equivalent a la de llançar una pilota enlaire. Quan arriba al punt més alt, la seva energia potencial gravitatòria és màxima, i en canvi la seva velocitat és zero. A mesura que comença a baixar, la seva velocitat incrementa, ja que l'energia potencial es va transformant en energia cinètica. Just el moment abans de tocar el terra la seva velocitat és màxima, i la seva energia potencial gravitatòria zero. De la mateixa manera els electrons s'acceleren en passar per un camp elèctric. Com més gran és la diferència de potencial, més energia cinètica adquireixen, que es tradueix en major velocitat i finalment en més força per al camp electromagnètic.

- L'altra possibilitat és augmentar el nombre de càrregues que circulen pel camp, de manera que les força magnètica que produeix cada una d'aquestes partícules es sumi, i el valor de la composició de forces sigui major. La quantitat de càrregues que passen per un circuit elèctric ve determinada per la intensitat de corrent:

$$Intensitat = \frac{Càrrega}{Unitat\ de\ temps} = \frac{Coulombs^8}{Segons}$$

Al mateix temps, la intensitat es relaciona amb la diferència de potencial i la resistència de la manera següent:

$$Intensitat = \frac{Diferència\ de\ potencial}{Resistència}$$

Si ja hem augmentat al màxim la diferència de potencial -per a incrementar la velocitat de les partícules carregades- la única opció restant és reduir al mínim la resistència. D'aquesta manera incrementaria el nombre de partícules carregades en moviment i la

8 Un Coulomb és equivalent a la càrrega de $1,6 \cdot 10^{19}$ electrons.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

potència del camp magnètic. Per a reduir la resistivitat del material al mínim podríem utilitzar **superconductors** (Veure glossari).

Utilitzant qualsevol d'aquestes dues tècniques seria possible controlar un gran imant. És a dir, com que els camps elèctrics originen paral·lelament efectes magnètics, seria possible crear un imant potent amb interruptor d'engegat/apagat: únicament necessitariem un nucli d'un material **ferromagnètic** (Veure glossari), al voltant del qual es situaria un camp elèctric. Per desactivar el camp magnètic només caldria aturar el corrent elèctric al voltant del nucli, i així l'imant es desactivaria. A més a més seria possible regular la força de l'imant, manipulant la intensitat o la diferència de potencial del camp elèctric, per tal d'evitar accidents. Si aquesta regulació no fos possible el raig tractor seria poc útil, doncs atrauria tots els objectes amb la mateixa força. Llavors els objectes petits s'accelerarien enormement i s'acabarien estavellant contra la nau, i els més grans tardarien excessivament a arribar⁹.

A més a més aquest tipus de raig tractor permetria un gran nombre d'aplicacions. Podria desviar els raigs de plasma enemics (el plasma és gas ionitzat supercalent, i per tant es veu atret pels camps magnètics) cap a zones especialment protegides i preparades per rebre'ls. En un domini experimentat del canvi de pol, quan les naus aterressin es podria assegurar un aterratge segur primer accelerant la nau que aterrés (utilitzant pols oposats, i per tant, atraients) i en l'últim moment desaccelera-la canviant al mateix pol (que per tant repel·liria l'altre imant provocant una força i una acceleració negatives).

Tanmateix, el problema que presenta també és evident: únicament funcionaria amb naus i amb persones vestides amb un equipament espacial adequat. Per a poder capturar una nau amb un raig tractor caldria que aquesta estigués feta d'un material ferromagnètic, o bé tingués activat el seu electroimant. Això no presenta cap problema per a les naus de la Federació -es podria enviar una senyal i ambdós naus activarien el seu electroimant-, però sí per a naus enemigues i segrestos d'habitants de planetes indefensos. Afortunadament (encara que no tothom hi estaria d'acord) aquest tipus de raig tractor està designat per a la pau, i no permet cap d'aquestes accions malintencionades.

⁹ Això és degut a la segona llei de Newton: $\vec{F} = \text{Massa} \cdot \vec{A}$ Per una mateixa força, la massa i l'acceleració són inversament proporcionals, de manera que si la massa disminueix l'acceleració augmenta; i si la massa incrementa l'acceleració disminueix.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Un altre problema que cal destacar és que tots els objectes ionitzats propers a l'*Enterprise* es podrien sentir atrets a aquesta -depenent de la potència del camp magnètic-. Per això seria necessari realitzar sempre un estudi previ abans d'utilitzar el raig tractor, assegurant-se de que no es troben objectes ionitzats al voltant, i així evitar accidents fortuïts. A més a més, de la mateixa manera que l'exemple de la gravetat, la fora és bidireccional. Això significa que no només la nau petita es veuria atreta cap a l'*Enterprise*, sinó que a més a més aquesta també es veuria atreta cap a la nau petita. L'acceleració originada per la força seria diferent en cada un dels cossos, però depenent de la mida de l'altre objecte podria tenir efectes importants en l'*Enterprise*.

Finalment, cal puntualitzar que aquest tipus de raig tractor no cobreix al 100% les propietats que apareixen a la sèrie, però s'hi ajusta en bona part. Malgrat no es pot aplicar a objectes neutres elèctricament, la seva actuació per a naus i astronautes -amb un equip imantat- seria extremadament bona. Seguidament trobem un exemple d'*Star Trek* en el que es demostren aquestes propietats del raig tractor i en el que la força electromagnètica hi encaixa a la perfecció, i un que presenta propietats impossibles des d'aquest punt de vista:

- En el capítol “Dax” de la primera temporada de *Deep Space Nine*, atrapen a una nau que s'està intentant escapar amb una presonera mitjançant el raig tractor. Això seria possible sempre i quan la nau estigués feta d'un material ferromagnètic -cosa probable ja que es tracta d'una nau petita, i no una gran estació ni un vehicle preparat per llargs viatges com l'*Enterprise*- o bé tingués activat el seu electroimant. Si acceptem aquesta condició com a complerta, llavors el capítol presenta les propietats establertes per a un raig tractor magnètic.

- En el capítol “El presente innexorable” de la primera temporada de *The next Generation*, un jove de la tripulació aconsegueix crear un dispositiu de mida manual amb el qual pot moure els objectes de l'habitació. Suposant que aquest dispositiu funcioni de la mateixa manera que el raig tractor de la nau, cal destacar dos errors. En primer lloc, no podria moure objectes que no estiguessin fets d'un material ferromagnètic. A més a més, en ser un dispositiu tan petit, la força electromagnètica l'afectaria considerablement. Així doncs, quan el jove tripulant fa una demostració i mou un sofà per l'aire, el dispositiu emissor del raig tractor s'hauria de sentir atret amb la mateixa força cap al sofà, cosa que

Física vint-i-quatre vegades per segon.

provocaria una acceleració suficient per a fer saltar la màquina de les mans del jove i estavellar-se contra el sofà.

3.4. Teleportació.

El món del transport a *Star Trek* és molt ampli. És natural, doncs les migracions han format part de la humanitat des de l'inici dels temps, i traslladar-se d'un lloc a l'altre és una de les accions que ocupa més temps de la nostra vida. Evidentment, la ciència-ficció i *Star Trek* ja s'han ocupat de plasmar la importància del transport en la societat explorant desenes de propostes diferents: forats de cuc, raig tractor, propulsió Alcubierre... Però de fet, la revolució màxima del transport no seria un altre que la seva abolició. Si fóssim capaços de transportar-nos d'un lloc a un altre instantàniament, sense que importés la distància que ens separés del nostre destí ni la geografia del trajecte... llavors hauríem complert el somni de la teleportació.

La teleportació, tot i que neix en la literatura de ciència-ficció, es va fer famosa gràcies a la sèrie *Star Trek*. Cal dir que la seva introducció a la sèrie és poc poètica, doncs respon únicament a raons econòmiques: el pressupost necessari per representar l'aterratge i l'enlairament de l'*Enterprise* era car, i resultava molt més rentable teleportar-la directament a l'espai exterior. Tot i així l'efecte de la teleportació en el públic va ser impactant, així com en el món científic i els crític televisius.

Una de les primeres observacions que van sorgir en contra del mètode de teletransport d'*Star Trek* estava lligada a la mecànica quàntica. La postulació del principi de Heisenberg -que afirma que és impossible conèixer amb exactitud la posició i la velocitat d'una partícula al mateix temps- va servir com a argument per afirmar que era absurd intentar conèixer la posició exacta de tots els àtoms que formen el cos humà, i que per tant la teleportació era inviable. Responent a aquesta crítica, els productors d'*Star Trek* van incloure “compensadors de Heisenberg” a la màquina teleportadora. La base científica d'aquest recurs és qüestionable, però és que a més a més era del tot innecessari. De fet, els ciments de la teleportació, tal com la podríem fer possible actualment, es troben en la mecànica quàntica.

Un univers basat en l'atzar.

“¿Cómo osamos hablar de leyes del azar? ¿No es el azar la antítesis de toda ley?” Bertrand Russell

La mecànica quàntica va sorgir a principis del segle XX per intentar explicar alguns dels fenòmens que la física clàssica no podia entendre. Aquesta teoria, orientada originalment a acabar d'omplir alguns buits, s'ha convertit avui dia en un dels pilars fonamentals de la física.

El seu nom prové de la idea que l'energia està “quantitzada”. Els ciments de la mecànica quàntica corresponen a Max Planck, que va proposar la hipòtesi de que l'energia no es continua, sinó discreta. Per tant això significa que només es poden assolir uns nivells d'energia determinats, i que llum es pot descriure com una radiació d'aquests paquets d'energia, anomenats quàntum de llum o fotons. Aquesta quantització de l'energia també explica, entre moltes d'altres coses, l'efecte fotoelèctric. La demostració de la hipòtesi de Planck mitjançant l'efecte fotoelèctric li valgué el premi Nobel a Albert Einstein. D'aquesta manera, Einstein -que ja havia publicat la teoria de la relativitat especial i començava a tenir cert prestigi- va despertar l'interès general per la recent nascuda física quàntica.

Un altre dels pilars bàsics el va establir el Príncep Louis de Broigle. Ell va ser el primer en proposar el concepte de dualitat de la matèria: tota la matèria, incloent-hi els electrons, els protons, els neutrons i els objectes macroscòpics, té una representació com a ona i una altra com una partícula. La funció d'ona d'una partícula ens aporta la informació física necessària per estudiar el sistema. Schrödinger va trobar l'equació a partir de la qual podem desenvolupar la funció d'ona específica per a cada partícula. Paul Dirac, aquell mateix any, va reformular aquesta equació per tal d'adaptar-la als efectes relativistes, que Schrödinger no va tenir en compte ja que sempre treballava a velocitats molt baixes. (Com hem vist anteriorment, mitjançant la readaptació d'aquesta equació, Dirac va predir l'existència d'antimatèria).

Física vint-i-quatre vegades per segon.

L'últim gran concepte és el famós Principi d'incertesa de Heisenberg. La idea és senzilla: és impossible conèixer al mateix temps la posició i la quantitat de moviment¹⁰ d'una partícula. Com major sigui la certesa sobre un dels valors, més incert serà l'altre. Malgrat la simplicitat de la teoria, les seves implicacions són molt profundes: significa que la física i l'observació es basen en un món d'atzar, on gairebé tot és possible i només podem parlar de probabilitats.

Aquesta última afirmació va revolucionar per complet el món de la física i va originar grans moviments en contra. A diferència d'altres models físics importants, com la teoria de la relativitat, en la creació de la mecànica quàntica van participar un gran nombre de científics diferents. Conseqüentment van sorgir diferents interpretacions a un mateix fenomen, incloent-hi la dels científics que pensaven que la física quàntica era un model incomplet.

El “gat d'Schrödinger”.

La commoció intel·lectual que va desencadenar la mecànica quàntica va més enllà de la física. De fet, planteja un seriós problema filosòfic: si les nostres prediccions estan basades en probabilitats i són influenciades per l'observador, significa que vivim en un món indeterminista? La física clàssica era un instrument totalment determinista: abans de tirar una pedra un físic podia calcular absolutament tots els detalls del seu moviment: quina distància recorrerà, en quan temps, en quin punt la seva alçada serà màxima, com l'afectarà el fregament de l'aire... I després de fer tots els càlculs, el científic es podia assentar, amb un cigarret en una mà i un whisky a l'altre, per observar amb satisfacció com totes les seves prediccions es complien a la perfecció.

Però la mecànica quàntica estava destinada a enderrocar per sempre més la seguretat impertèrrita de la física. Per primer cop, el món científic es trobava davant una situació en que un electró podia estar en dos llocs a la vegada... De fet, estava als dos llocs a la vegada, i les prediccions que es podien fer sobre aquest sistema només eren probabilitats. S'avia acabat la satisfacció guanyadora, el whisky i el tabac. Els científics s'havien d'enfrontar a un món microscòpic en el que tot és possible.

¹⁰ La quantitat de moviment és el producte de la massa i la velocitat.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Per exemplificar aquest canvi en la concepció del món microscòpic, imaginem un electró, que, metafòricament, podem representar com una carta col·locada verticalment sobre una taula. L'electró té dos estats possibles, és a dir, la carta pot caure cap a l'esquerra (el primer estat de l'electró) o bé cap a la dreta (el segon estat). En aquest context la mecànica quàntica ens diu que tots dos estats són possibles, però, al contrari del que ens fa pensar el sentit comú, no s'anul·len. En realitat, les probabilitats dels dos estats es superposen i conviuen, de manera que existeix a la vegada una carta que ha caigut a l'esquerra i una carta que ha caigut a la dreta.

Un altre exemple és la paradoxa del “gat d'Schrödinger”. Aquest problema, formulat amb la intenció de desqualificar la mecànica quàntica, n'és avui dia un dels exemples més coneguts. La idea és la següent:

Imaginem una caixa tancada. A dintre d'aquesta misteriosa caixa hi ha una pistola que està apuntant a un gat, en un principi viu. El gallet està connectat a un comptador Geiger -un instrument que ens permet mesurar l'índex de radioactivitat- proper a un àtom d'urani, de manera que si l'àtom es desintegra, el comptador s'activa i la pistola dispara. L'observador no sabrà si l'àtom d'urani s'ha desintegrat fins que obri la caixa, i tampoc si el gat està mort o viu. La mecànica quàntica afirma que en l'àtom d'urani conviuen els dos estats a la vegada -àtom desintegrat i àtom no desintegrat-, però això significa que llavors també hem de representar el gat com la suma de dos estats: gat viu i gat mort.

La intenció de Schrödinger era demostrar que interpretar aquesta paradoxa segons la mecànica quàntica violava el sentit comú. Quan nosaltres obrim la caixa observem un sol estat del gat: o viu o mort. Per molt que la mecànica quàntica ens faci pensar que els dos estats conviuen a la vegada, l'experimentació demostra el contrari.

La paradoxa del “gat d'Schrödinger” té varies respostes, però la més acceptada és la de l'Escola de Copenhaguen. Aquesta interpretació recolza la idea que la matèria existeix com la suma de tots els seus estats, però que en presència d'un observador la funció d'ona col·lapsa i origina un estat definit. És a dir, que en observar la carta -metàfora de l'electró- un dels seus dos estats col·lapsarà i serà el que finalment podrem observar: la carta haurà caigut a l'esquerra. En el cas del “gat d'Schrödinger” passarà el mateix: quan ens disposem a fer una mesura sobre el sistema, les respectives funcions d'ona es col·lapsaran i originaran un estat definit. Les ones desapareixeran per donar pas a les partícules, i gràcies a això podrem observar un sol estat: gat mort.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

El més inquietant és que la supervivència o no del gat és una qüestió purament d'atzar. Existeixen tantes probabilitats de que el gat estigui viu com de que estigui mort. Tot i que en el món macroscòpic totes les funcions d'ones ja han col·lapsat i per tant ens trobem en un estat definit, l'inici de la cadena de causa-conseqüència està arrelada al món microscòpic. I aquest és l'imperi de l'atzar.

Evidentment, una teoria tan revolucionària i poc intuïtiva com aquesta va ser objecte de moltes controvèrsies. Fins i tot alguns dels seus fundadors s'hi van oposar fervorosament. Schrödinger, que havia formulat l'equació d'ona, va crear la paradoxa anterior per demostrar que la física quàntica estava incompleta. Einstein, que creia en una realitat física "objectiva", en la que els fenòmens tenien lloc independentment de l'observador, acostumava a preguntar als seus convidats: "La Lluna existeix per què la mira un ratolí?". Des del punt de vista d'una realitat objectiva no, però l'Escola de Copenhaguen indica que l'existència d'un estat definit és deguda a la intervenció d'un observador.

Finalment, el gran nombre de comprovacions experimentals i d'aplicacions tècniques que es van extreure d'aquesta nova teoria foren dos punts claus per a desequilibrar la balança, i la mecànica quàntica es va acabar instaurant com un model vàlid.

Malgrat tot, la feina de científics com Einstein o Schrödinger no va ser inútil. Només per posar un exemple, gràcies al treball d'alguns d'aquests físics inconformistes avui dia podem parlar de teleportació.

L'experiment EPR.

Tot i l'acceptació final de la mecànica quàntica, la polèmica que va envoltar tot el procés va ser significativa. Un dels episodis més coneguts foren les discussions entre Einstein i Niels Bohr. El primer recolzava l'existència d'unes variables ocultes que havien de completar la mecànica quàntica i convertir-la en un sistema determinista, i per tant, eliminar el factor de l'atzar. Bohr, en canvi, argumentava que la probabilitat era l'últim esglaó de la física, i l'únic amb el que podíem treballar a escala atòmica.

D'aquestes discussions se'n desprèn una de les frases més famoses d'Einstein, en context: "La mecànica quàntica mereix molt de respecte. Però una veu interior em diu

Física vint-i-quatre vegades per segon.

que això no és tota la veritat. La teoria pot oferir molt, però amb prou feines ens apropa més al secret del vell. Per part meua, al menys, estic convençut de que Ell [Déu] no juga als daus”. La resposta de Bohr no es va fer esperar: “Einstein, deixi de dir-li a Déu el que ha de fer!”

Però la realitat és que Einstein no va fer gaire cas al consell de Bohr i va seguir treballant en intentar posar de manifest els errors d'aquesta teoria. L'any 1935, juntament amb Boris Podolski i Nathan Rosen, va publicar un article en el que proposaven un experiment mental, l'objectiu del qual era demostrar que la mecànica quàntica estava incompleta. Aquest experiment estava basat, al mateix temps, en una estranya propietat de la mecànica quàntica: l'entrellaçament.

Dues partícules entrelaçades es comporten d'una manera peculiar. Per molt lluny que estiguin, sembla establir-se una espècie de connexió entre elles. Mesurant les propietats d'una de les partícules -per exemple, la seva velocitat- es pot conèixer immediatament les característiques de l'altre.

Imaginem que estem en un laboratori, amb un parell de fotons entrelaçats i el material necessari per realitzar mesures sobre aquests, separatament. Podem haver obtingut aquests fotons entrelaçats de diverses maneres: poden sorgir per la col·lisió entre un electró i un positró (antielectró), o d'un electró que perd energia i davalla dos nivells energètics de l'àtom. Sigui quin sigui el cas, els fotons han estat en contacte originalment, vibrant a l'uníson.

Entre les propietats d'aquests fotons, podem distingir una que s'anomena espín. Els fotons giren sobre ells mateixos, i l'espín és el sentit de gir d'aquestes partícules: pot ser espín cap amunt o espín cap avall.

Ara tornem al laboratori. Sabem que els dos fotons estan entrelaçats, i que l'espín total del sistema és nul, però no coneixem l'espín concret de cada una de les partícules. Ara enviem cada un dels fotons a dos científics diferents: Alice i Bob. Poden realitzar les mesures següents en el mateix laboratori, separats per uns pocs metres, o en galàxies diferents situades a milions d'anys llum de distància: el resultat en tots dos casos serà el mateix. Quan Alice fa una mesura sobre el seu fotó, existeixen les mateixes probabilitats de que l'espín tingui direcció cap amunt o cap avall. Segons la física quàntica, els dos estats es troben superposats. Però en realitzar l'observació la funció d'ona col·lapsa i origina un estat definit: per exemple, espín cap amunt.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Automàticament, sabrem amb seguretat que el fotó de Bob té espín cap avall, atès que està entrellaçat amb el d'Alice i sabem que l'espín del sistema és zero. Seguidament, Bob fa una mesura sobre la mostra i efectivament, el seu espín és cap avall.¹¹

En l'article EPR l'experiment no es va realitzar amb fotons sinó amb electrons, i no mesuraven l'espín de les partícules sinó la seva quantitat de moviment. Tanmateix, el resultat va ser el mateix: aparentment les dues partícules estaven connectades entre sí. Els tres científics van crear la següent disjuntiva excloent:

- La descripció de la realitat que ofereix la funció d'ona no és completa.
- Dos observables conjugats no poden tenir realitat simultàniament.¹²

Les dues afirmacions no podien certes, perquè llavors significava que la Mecànica quàntica estava incompleta. Tampoc podien ser falses totes dues, ja que llavors podríem conèixer simultàniament la posició i la velocitat d'una partícula i per tant estariem violant el principi d'Incertesa de Heisenberg. Així doncs, una de les dues afirmacions havia de ser certa i l'altre falsa.

Einstein i el seu equip van intentar demostrar que el segon enunciat era fals, i per tant la física quàntica estava incompleta. Tanmateix, el seu sistema estava basat en un **principi de localitat** (Veure glossari), i no admetia la possibilitat de que dues partícules poguessin interaccionar entre sí, independentment de la separació espacial entre totes dues.

Finalment, John Bell va ser capaç de donar una resposta a la crítica (més que no paradoxa) realitzada per EPR. Einstein afirmava que, per tal de mantenir el principi de localitat, era necessària la introducció d'una sèrie de variables ocultes. Per demostrar si la física quàntica estava incompleta o no, Bell va deduir una sèrie de desigualtats matemàtiques, tenint en compte les crítiques d'EPR i suposant que la mecànica quàntica obeeix unes lleis deterministes.

El treball que en va resultar són les anomenades *Desigualtats de Bell*, i podien ser utilitzades per comprovar les afirmacions d'Einstein. Si les desigualtats eren certes, llavors significava que EPR tenien raó i la física quàntica era incompleta. Però si

¹¹ Aquest exemple correspon a l'experiment que va realitzar David Bohm, que al mateix temps és una simplificació de l'experiment EPR.

¹² És a dir, que no podem mesurar amb certesa dos propietats diferents d'una mateixa partícula, tal com indica el principi d'Incertesa de Heisenberg.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

resultaven ser falses, llavors Einstein estava equivocadament i la mecànica quàntica seguia sent vàlida.

Per a concloure el seu estudi, Bell va postular el seu teorema d'impossibilitat: "Cap teoria física de variables ocultes locals pot reproduir totes les prediccions de la mecànica quàntica".

A partir de la publicació de les seves desigualtats, s'han realitzat un gran nombre d'experiments, i absolutament tots violaven la Desigualtat de Bell. Tot i que pugui semblar un final discret després d'unes controvèrsies tan dramàtiques i sensacionals, les implicacions d'aquest teorema són molt profundes. Significa que, al contrari del que creien Einstein, Schrödinger i altres científics crítics amb el model, la realitat no existeix en un estat definit abans de ser observada. La mecànica quàntica no és incompleta en aquest sentit, ja que no existeixen variables ocultes capaces de determinar la realitat. El Teorema de Bell arranca d'arrel totes les possibilitats de crear una teoria determinista que ens permeti saber si el gat està viu o mort.

Tanmateix, no hem d'oblidar que les afirmacions de la ciència mai són absolutes. La mecànica quàntica és vàlida ja que de moment el teorema de Bell sempre ha sigut falsejat (recordem que es tracta d'un teorema d'impossibilitat). Però és possible que un dia un experiment doni un resultat positiu per a les desigualtats de Bell... Llavors, potser Einstein i els seus companys passarien a convertir-se en visionaris, l'atzar desapareixeria del diccionari de la física, i els científics podrien recuperar la pipa i el whisky del seu antic armari i assentar-se a gaudir amb satisfacció d'un nou univers determinista.

Teleportació quàntica.

La conclusió a la que arribem és que, en la teoria quàntica actual, cal considerar sempre un sistema global. La localitat no existeix, ja que qualsevol de les mesures que fem sobre un sistema particular pot ser que estigui afectant a un altre sistema situat a milions d'anys llum (sempre que aquests dos es trobin entrellaçats). Apart de posar de manifest els dos punts de vista físics i filosòfics que es van estar enfrontant continuadament

Física vint-i-quatre vegades per segon.

durant més de la primera meitat del segle XX, l'experiment EPR i les desigualtats de Bell van despertar l'interès general cap a l'entrellaçament.

Finalment, es va acabar acceptant que l'entrellaçament era una propietat intrínseca a la mecànica quàntica, que permetia la comunicació entre partícules per mètodes desconeguts. La interpretació més acceptada és que els conceptes de temps i espai estan mancats de significat en mecànica quàntica. Per tant, dues partícules que estaven entrellaçades en un començament segueixen formant el mateix sistema, tot i que hagin passant milers d'anys i es trobin a milions d'anys llum.

El progrés tecnològic en aquest camp va començar quan es va deixar de considerar l'entrellaçament com una curiositat física, i es van començar a investigar les seves possibles aplicacions. Els resultats obtinguts han sigut magnífics: l'entrellaçament ens obre la porta cap al camp de la computació i la criptografia quàntiques.

També han sorgit algunes idees sorprenents. Existeixen dues patents a Estats Units de sistemes que, suposadament, poden transmetre informació a una velocitat superior a la de la llum. El Dr. Jack Sarfatti i Dr. Hebert en són els seus responsables, i ambdós es basen en el sistema d'entrellaçament per desenvolupar el seu prototip. Sarfatti argumenta la seva validesa afirmant que el seu sistema no s'oposa a la teoria de la relativitat ja que no transmet energia, sinó informació; i que la superació de la velocitat lumínica en aquest context es permesa pel Teorema de Bell.

Aquesta última afirmació és força controvertida. La teoria de la relativitat prohibeix velocitats superiors a la de la llum, de manera que generalment s'accepta que si aquests sistema de transmissió d'informació fos possible significaria que la física quàntica és incompatible amb la teoria de la relativitat.

Però el cert és que l'entrellaçament només permet transmetre informació aleatòria, i per tant inútil. Imaginem que Bob es troba a tres mil milions d'any llum de la Terra i posseeix un fotó B entrellaçat amb un àtom A. En un laboratori d'Estats Units, Alice fa una mesura sobre el seu fotó A, per descobrir quin és el seu espín. Després de fer l'observació, Alice podrà saber instantàniament quin es l'espín del fotó de Bob. S'ha transmès informació més ràpid que la llum, però aquesta informació no té cap valor. El cert és que s'han patentat dos invents de transmissió més ràpida que la llum mitjançant entrellaçament, però la comunitat científica segueix negant la possibilitat de transmetre informació mitjançant aquest sistema.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Independentment de les seves improbables aplicacions al món de la comunicació, en el que en aquest treball estudiem com a *teleportació quàntica* fa referència a un procés de còpia, en que l'estat quàntic d'un sistema es reproduïx en un altre punt, destruint-se l'original.

El fet de que s'anomeni *teleportació* ha generat algunes confusions. Les revistes divulgadores juguen amb titulars sensacionalistes i no sempre queda clara la diferència entre teleportació tal com s'entén en la ciència ficció, i teleportació quàntica:

- La *teleportació* en el context de ciència ficció, consisteix en la desaparició de matèria en un lloc determinat, per fer-la aparèixer en un altre indret instantàniament. La justificació científica que s'acostuma a donar a aquest procés és la transformació de matèria en energia. Així doncs, si fos possible conèixer la posició de tots els àtoms del nostre cos (que són bilions de bilions), podríem convertir tota la nostra massa en energia segons l'equació següent: $E=mc^2$. Després podríem enviar el raig de llum resultant al lloc on el cos volgués ser transportat, i en una sala de màquines es reinvertiria el procés en convertir l'energia en massa una altra vegada. Tanmateix, el procés de teleportació clàssica conté varies dificultats. La més evident és la impossibilitat -o enorme complicació- de conèixer la posició de totes les partícules que formen el nostre cos. El segon obstacle seria l'enorme energia necessària per convertir tota la nostra massa en energia. Finalment, un cop ho haguéssim aconseguit, les garanties de que el procés fos segur serien mínimes. Cal tenir en compte, no només la dificultat per a reconstruir l'humà a partir d'un raig de llum, sinó que a més a més aquest raig de llum pot haver sigut modificat durant el seu propi transport. El principi de degradació de l'energia indica que en qualsevol transformació energètica una part de l'energia inicial es perd, transformant-se en calor. Així doncs no tota la massa del nostre cos es transformaria en energia transportable. Potser no seria tan greu perdre uns quants quilos durant el viatge, però el cert és que llavors les possibilitats d'error també augmentarien. Tot i que aquest procés, tal com el planteja la ciència ficció, no té cabuda en el món actual, existeixen alguns mètodes que podrien originar uns resultats semblants.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

- La *teleportació quàntica* és el transport de l'estat quàntic d'una partícula d'un lloc a un altre, destruint-se l'original en el procés. La clau per aconseguir-ho no es troba en transformar la seva massa en energia, sinó simplement en copiar la informació de la partícula. Aquesta informació es pot utilitzar llavors com a guia per reproduir l'àtom original. Varis experiments recolzen aquesta afirmació. Dos grups independents, liderats respectivament per Rainer Blatt (*Universitat d'Innsbruck* a Austria) i David Wineland (*National Institute of Standards and Technology in Boulder*, de Colorado) van aconseguir transferir informació d'un àtom a un altre mitjançant làsers pulsats. Els mètodes, tot i ser lleugerament diferents, van donar el mateix resultat: el segon àtom es convertia en el primer, atès que la informació del primer havia desaparegut meravellosament per aparèixer en el segon. Com podem observar, es tracta d'un mètode molt diferent al que presenta la ciència ficció: el que es transporta no són els àtoms, sinó la informació que contenen.

Tanmateix, combinant tècniques d'entrellaçament i teleportació quàntica, seria possible simular les propietats dels teleportadors que apareixen a *Star Trek*. No seria un procés fàcil, però entra dintre les fronteres del possible.

“Desmuntando a Kirk.”

La coneguda frase de “Beam me up, Scotty!” que pronunciava el Capità Kirk cada vegada que havia de ser teleportat, perdria part de la seva frescor en una pràctica que podria durar hores. Contràriament a com apareix a la sèrie, la teleportació tal com podríem fer-la possible avui dia seria un procediment llarg, feixuc i força perillós; i obligaria al Capità Kirk a sedar-se per tal de que pogués ser “desmuntat” i “tornat a muntar”. Tot i així, no cal perdre les esperances, ja que com a mínim sabem que és possible. Seguidament exposem dues tècniques que podrien fer realitat aquest “Lego humà”:

- La primera es basa en un experiment, semblant a alguns dels anomenats anteriorment, que podria fer possible la **teleportació sense entrellaçament**. L'entrellaçament, tot i que té moltes avantatges, també és molt difícil de mantenir, i com més gran és el

nombre de partícules involucrades, més complicat és el procés. Aston Bradley, del Centre d'Excel·lència per a Òptica Atòmica Cuàntica del Consell d'Investigació Australià a Brisbane, va batejar el seu experiment com “teleportació clàssica”, amb la intenció de diferenciar-la així de la teleportació quàntica. El seu mètode consisteix en el següent:

El material inicial és un feix d'àtoms de rubidi, del qual s'extreu tota la seva informació quàntica i s'emmagatzema en un raig de llum. Llavors envien aquest raig de llum per un cable de fibra òptica, i reconstrueixen el feix d'àtoms original en el destí final.

Aquest procés s'assembla força al plantejat per la ciència ficció, però és possible gràcies a un truc amagat: l'estat BEC. També anomenat com “condensat de Bose-Einstein”, el BEC és un estat superfred de la matèria. De fet, és encara més fred que la temperatura de l'espai exterior. El que es coneix com a **fons còsmic de microones** (Veure glossari) manté una temperatura espacial d'uns 2,7 graus Kelvin. En canvi, el BEC es troba només una milionèsima de milionèsima de grau sobre el zero absolut. A aquesta temperatura, l'energia dels àtoms es tan mínima que vibren tots a l'uníson, creant un estat de coherència. Llavors les seves funcions d'ona es superposen unes amb altres, de manera que per a l'observador, té l'aspecte d'un àtom gegant. Bradley i el seu equip van mantenir el feix d'àtoms de rubidi en un estat BEC. Llavors, van afegir-hi un feix d'àtoms de rubidi que no es troben en aquest estat, i per tant, posseeixen molta més energia. En intentar-se col·locar en un estat BEC, igual que el feix inicial, aquests últims àtoms van alliberar l'energia sobrant en forma d'un raig de llum, que contenia tota la informació quàntica sobre el sistema. Finalment aquest raig de llum va incidir sobre un altre grup d'àtoms en estat BEC, que així van adquirir les mateixes propietats que els àtoms originals.

Tot i que aquest mètode funciona correctament per a matèria inerta, presentaria forces problemes per als éssers vius. Per tant, la seva aplicació en el món d'*Star Trek* és complicada. En primer lloc, seria necessari aconseguir crear un estat amb les mateixes propietats que el BEC, però a una temperatura molt més alta. Actualment no es coneix cap sistema que compleixi aquests requisits. Només suposant que això s'hagués aconseguit, i que l'animació suspesa hagués evolucionat paral·lelament, seria possible sotmetre un humà a una temperatura més baixa en un estat d'animació suspesa i aconseguir que alliberés el seu propi raig de llum. És poc probable que l'animació suspesa evolucioni fins a permetre temperatures pròximes al zero absolut, de manera

Física vint-i-quatre vegades per segon.

que cal confiar en que a *Star Trek* han aconseguit simular un estat de BEC a temperatures superiors.

En segon lloc, caldria que els dos indrets estiguessin comunicats entre si per un fil de fibra òptica. Aquest requisit és un mecanisme de seguretat, doncs gràcies a la fibra òptica es pot aïllar el raig de llum de fonts electromagnètiques, i fenòmens com la decoherència i l'efecte Doppler. El cert és que a la sèrie, aquesta connexió material entre el punt de partida i el destí no existeix. Enviar aquest raig de llum sense protecció no és impossible, però seria, com a mínim, arriscat. Encara que ben mirat, també podria suposar algunes situacions divertides per al públic: en intentar recompondre el Capità Kirk sorgiria una criatura desconeguda, i de sobte... el capità Kirk s'hauria convertit en la futura capitana Janeway. Sorpresa!

- L'altre sistema utilitza l'entrellaçament i està emmarcat dintre del sistema habitual de **teleportació quàntica**. És més complicat i més llarg, però també sembla ser més segur. Alguns grups experimentals van utilitzar aquest sistema i van aconseguir copiar a distància l'estat quàntic d'un sistema individual. Aquests grups van ser els de Anton Zeilinger a Innsbruck, i el de Francesco de Martini a Roma. En tots dos casos van operar amb un sistema pràcticament idèntic, que en línies generals i sense entrar en el llenguatge de la mecànica quàntica, seria el següent:

En un primer moment trobem dos científics Alice i Bob. Alice posseeix la partícula que vol teleportar: p i està situada a dintre la nau *Enterprise*. Bob es troba a la Terra i encara no té cap partícula, però vol obtenir una còpia de p .

Finalment introduïm un tercer observador, Carol, que entrellaça dues partícules a i b (de la mateixa naturalesa que p , és a dir, si p és un fotó a i b també). Carol envia llavors el fotó a a Alice, i el b a Bob. A dintre l'*Enterprise*, Alice reuneix la seva partícula p amb a , obtenint així un sistema pa .

Seguidament, Alice efectua una mesura sobre el seu sistema. El resultat obtingut ha de ser un dels quatre **estats de Bell** (Veure glossari) i cadascun dels estats té la mateixa probabilitats d'aparèixer (25%). Tanmateix, un cop realitzada la mesura, l'estat de pa obtingut ens determinarà automàticament l'estat de b .

Però el fet que Alice conegui l'estat de la partícula b no ajuda a en Bob, que encara ignora completament l'estat de la seva partícula. En aquest cas és necessària la

Física vint-i-quatre vegades per segon.

intervenció d'un altre sistema de comunicació, per posar en contacte Alice i Bob. D'aquesta manera Alice l'informa sobre l'estat de la seva partícula, i Bob pot manipular b de manera que finalment tinguin el mateix estat que pa .

Cal tenir en compte diferents aspectes relacionats amb aquest experiment:

- En primer lloc, com en el mètode anterior, el que es transporta no és la partícula en si, sinó la seva informació quàntica. En aquest cas, degut a la introducció d'un fenomen com l'entrellaçament, cal especificar també alguns detalls. Quan Alice efectua la mesura sobre pa , no està tractant aïlladament la partícula p , que és la que vol teleportar. En efectuar la mesura sobre un sistema conjunt, p perd les seves propietats inicials, que adoptarà la partícula b modificada per Bob. Aquest fet evita que existeixin dos exemplars idèntics, i respecta el teorema de *no-clonació*. La informació de p es destrueix durant el procés i és recuperada per b .
- També cal destacar que aquest procés combina la utilització de l'entrellaçament -que permet la transmissió d'informació a una velocitat supralumínica- amb mètodes de comunicació convencionals. Aquest detall és important, ja que generalment es fa referència a la teleportació quàntica com un sistema de comunicació més ràpid que la llum, i no és té en compte que per a completar-la també es necessiten altres sistemes de comunicació, iguals o inferiors a la velocitat de la llum.

Extrapolar aquest mètode a cossos macroscòpics és un procés complicat. Caldria entrellaçar i després realitzar mesures i possibles modificacions sobre cadascun dels àtoms del nostre cos. No és del tot impossible, ja que aquest sistema funciona també en sistemes formats per un nombre superior de partícules -per exemple, la partícula p podria estar enllaçada a la vegada amb q , formant un sistema pq . En aquest cas la informació que es transmetria a b seria per convertir-se en bq . Però els nostres cossos estan formats per bilions de bilions d'àtoms i seria molt feixuc transmetre la seva informació mitjançant aquest procés. A més a més, atès que caldria posar en contacte els nostres àtoms amb els entrellaçats – provinents de Carol- per tal de poder completar el procés, seria necessari *separar* tots els àtoms del nostre cos. Realment, teleportar al Capità Kirk suposaria desmuntar-lo per copiar tota la seva informació, i després tornar-lo a muntar en un indret diferent.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Entre aquests dos sistemes, el que s'apropa més a la realitat representada per *Star Trek* és el primer, l'anomenat *teleportació clàssica*. La raó principal és que el segon sistema requereix una còpia de la informació individual de cada àtom. Per a que això fos possible s'hauria de desintegrar l'humà en qüestió, cosa que el mataria. També és important el fet que per a fer possible el procés, cal treballar amb una quantitat enorme d'àtoms entrelaçats. L'estat d'entrelaçament en fotons ja es força difícil de mantenir, així que no cal ni esmentar-ho en el cas dels àtoms. A més a més, és necessari que el punt de partida i l'objectiu posseeixin, tots dos, àtoms entrelaçats entre si. Recordem que en l'experiment exposat anteriorment, Carol envia dues partícules entrelaçades a Alice (que es troba a l'*Enterprise*) i Bob (situat a la Terra). Però aquesta tercera observadora no apareix a la sèrie, de manera que cal suposar que, o bé les dues naus estan equipades prèviament un grup d'àtoms entrelaçats; o bé aquests àtoms es transmeten d'Alice a Bob, una resposta absurda ja que en aquest cas es podria transportar directament a la persona.

Paral·lelament, algunes de les propietats del primer tipus de teleportació semblen encaixar perfectament amb les característiques que presenta la sèrie. Una manca important és que els humans no es sotmeten a un estat d'animació suspesa, dada que podríem considerar un error si afirmem que aquest és l'únic sistema de teleportació humana possible. Però en canvi, altres detalls confirmen la validesa del mètode. En són exemples les cites següents:

- En el capítol "Los 37", de la segona temporada de *Voyager* les interferències afecten al transportador. Es pot interpretar que l'origen de les interferències són fonts electromagnètiques properes, que poden alterar el raig de llum provinent del punt de partida -i per tant també missatges de so o imatge, provocant les anomenades interferències- que conté la informació sobre el cos que es vol transportar. D'aquest mateix capítol també se'n pot extreure una crítica. L'objecte que volen transportar és un antic vehicle que es troba vagant per l'espai. Per a poder-la teleportar caldria sotmetre-la a un estat superfred, el BEC, viable únicament en un laboratori. Però si suposem que s'ha aconseguit simular un estat BEC a temperatures superiors -un requisit casi indispensable si es vol aplicar en humans-, llavors no seria necessari cap tractament anterior del vehicle, doncs la temperatura de l'espai exterior és de 2,7 graus Kelvin.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

- Un altre exemple vàlid el trobem en el capítol “El hoyo negro” de la primera temporada de *Voyager*. En aquest episodi l'*Enterprise* intenta teleportar un romulà a dintre la seva nau a través d'un forat de cuc. El que és important és que els problemes amb els que s'han d'enfrontar són deguts principalment a interferències en la radiació. També és destacable el fet que realitzen una prova prèvia, en la qual teleporten un cilindre que simula teixits orgànics. Tenint en compte que efectuen la transmissió del raig de llum sense cable de fibra òptica, existeix la possibilitat de que es perdi informació durant el trajecte i no es pugui completar la teleportació. La introducció d'una prova d'aquest tipus és un encert de la sèrie, doncs realment seria un bon mètode per a garantir la seguretat del procés.

Un altre dels detalls que cal acabar de perfilar és la possibilitat d'autoteleportació. En aquest mateix episodi el romulà s'aconsegueix teleportar a la nau de l'*Enterprise* sense l'ajuda de cap altre persona. Tenint en compte que si s'utilitza la teleportació clàssica cal sotmetre's a un estat d'animació suspesa, i que després de simular l'estat BEC existeixen diferents passos que s'han de controlar des de dins de la mateixa nau, hem de suposar que, o bé les tripulants de l'*Enterprise* són capaços de dirigir el procés des de la seva nau, o bé existeix una funció automàtica de teleportació. La primera opció és poc probable, així que podem confirmar amb força seguretat que la tecnologia de la teleportació, ha arribat a un nivell de sofisticació tan elevat, que permet el control automàtic.

En conclusió, la teleportació és possible malgrat ens enfrontem a grans dificultats tècniques. *Star Trek* s'adapta a l'únic sistema viable amb algunes contradiccions i manques, però en alguns sentits presenta encerts i confirmacions sorprenents.

Si finalment s'aconguís fer realitat la teleportació en humans, tindria lloc una revolució universal. Però a hores d'ara ja podem palpar algunes de les aplicacions immediates d'aquests últims descobriments en el món dels ordinadors i la criptografia quàntica. La Mecànica Quàntica ens ha obert les portes a un univers màgic ple de noves possibilitats. I com tantes vegades passa en ciència, irònicament, gràcies a alguns dels seus crítics -com l'equip EPR- que van destacar alguns dels seus aspectes més peculiars.

4. L'univers d'*Star Trek*.

“Lo más incomprensible del Universo es que sea comprensible.” Albert Einstein

Els nostres sentits estan dissenyats d'una manera determinada, segons la qual definim el món que ens envolta a través de color, forma i mida, tacte, olor, so i gust. No només rebem tota aquesta informació sinó que a més a més la processem, l'analitzem, i la valorem per finalment emmagatzemar-la. I segurament, de tot el procés, el pas més important és el penúltim. Allò que recordem no és altra cosa que les nostres pròpies interpretacions. Una realitat objectiva i crua és difícil de trobar en el món dels records.

El cel de la nit, fred i absolut, ha impressionat, atemorit i guiat les civilitzacions durant els segles dels segles. La seva indiferència desolava alguns, mentre la seva misteriosa abstracció n' enamorava d'altres. I aquells que intentaven establir la lògica i entendre el sentit d'un grapat de punts brillants, no quedaven defraudats en la perillositat de la seva aventura.

El món científics ha anat descobrint a poc a poc com els nostres sentit eren enganyats parcialment, o com, potser, no interpretàvem correctament les senyals. Sigui com sigui, mentre la cúpula de foscor palpable i granets de sorra platejats s'ha mantingut serena i impertèrrita al pas del temps, sota el seu pes, la concepció de l'univers ha anat canviant d'una manera fascinant. Els models van d'esferes d'èter plenes de xinxetes que figuren estrelles fixes, a universos tancats i estranys, on l'espai és curvilini i deformable com una malla elàstica. I això, passant la versió més equilibrada, la preferida per la imaginació i els sentits: un univers pla i infinit, abstracte com les estrelles i que, de la mateixa manera que la nit, s'estén amb la seva negror més enllà del que podem comprendre.

L'objectiu de la ciència és construir un model d'univers capaç de sobreposar-se a les vanitats dels nostres sentits i als gustos capritxosos. Però la validesa de la ciència és

Física vint-i-quatre vegades per segon.

sempre un tema controvertit. Pregunten els relativistes: com poden establir un sistema objectiu si està basat en observacions subjectives? De fet, no és segur que existeixi una resposta clara a aquesta pregunta. Però els fets estan allà. Les prediccions de la ciència acostumen a ser encertades. I sinó que investiguin quants relativistes miren cada nit la previsió del temps.

La forma i les propietats del nostre univers és una de les preguntes que ha perseguit la humanitat des del seu naixement. A *Star Trek*, aquesta pregunta agafa un to confús quan es barreja amb l'espectacularitat dels fenòmens i la bellesa de la construcció global.

Però és important que sapiguem allunyar-nos dels nostres sentits, i intentar trobar l'objectivitat i el criteri científic quan la responguem.

Així doncs, quines són la forma i les propietats de l'univers d'*Star Trek*?

4.1. Estripant l'espai-temps.

Un dels recursos més habituals, no només d'*Star Trek*, sinó de la ciència-ficció en general, són les ruptures en el continu espai-temps. A partir de la publicació de la teoria de la relativitat, la ciència-ficció va començar a explotar les enormes possibilitats que originava el canvi a un nou model, en el qual el temps passava a ser una coordenada més i l'espai-temps era una malla deformable.

Una de les conseqüències immediates va ser l'aparició d'*esquerdes* en aquest teixit. És curiós que altres fenòmens també derivables d'aquesta teoria, com la Propulsió Alcubierre, i que proposaven imatges tan impactants com la d'*arrugar* l'espai per impulsar-se, són molt menys conegudes a nivell popular. Encara que ambdues teories apareixen a *Star Trek* i parlen d'accidents de l'espai, la propulsió Alcubierre és pràcticament desconeguda, i en canvi qualsevol aficionat a la ciència ficció haurà sentit a parlar de els fissures de l'espai-temps.

L'explicació a aquest fet és que, segurament, les fractures de l'espai-temps són molt més properes al món quotidià. Parlant en un sentit relatiu, és clar. Tot allò que generi destrucció com la que trobem a la Terra, generada per terratrèmols o bombes, és

Física vint-i-quatre vegades per segon.

compreensible. A nivell humà, és més intuïu el caos que l'ordre, i per tant guanya la destrucció a la manipulació. Conseqüentment una fissura en l'espai-temps es pot entendre com un procés natural; mentre que la Propulsió Alcubierre és una tecnologia sofisticada.

Aquest tipus de fractures, doncs, són àmpliament acceptades pel públic i constitueixen un recurs habitual de la sèrie. Poden ser fractures que afectin a les quatre coordenades espacials -originant així un forat de cuc o un univers bebé- o únicament a la coordenada espacial. En tots dos casos, l'energia necessària és extremadament alta. Tanmateix, no és un esdeveniment impossible en absolut.

L'energia de Planck.

El físic Max Planck fou un dels fundadors de la mecànica quàntica, i actualment és conegut, entre d'altres coses, per les anomenades *unitats de Planck*. Aquestes mesuren varies de les magnituds fonamentals de l'univers, essencialment: temperatura, càrrega elèctrica, distància i temps. La característica que defineix les unitats de Planck és que no necessiten la presència de constants per a ser calculades, doncs ell mateix les va deduir igualant les diferents constants -constant gravitació universal, constant de Boltzmann, velocitat de la llum, etc.- a 1.

Gràcies als estudis de Plack, avui dia podem conèixer la quantitat d'energia necessària per obrir una fissura en l'espai-temps: concretament 10^{28} electró volts. Tanmateix, cal matisar aquesta afirmació: com que aquest valor correspon a l'energia de Planck, la mida de la distorsió també equivaldria a la longitud de Planck, és a dir, $1,61624 \times 10^{-35}$ metres. L'energia de Planck és, doncs, la màxima quantitat d'energia que es pot emmagatzemar en l'espai més petit possible, fins a aconseguir estripar el teixit espai-temps. Per tant si aconseguíssim focalitzar 10^{28} electró volts en $1,61624 \times 10^{-35}$ metres, crearíem un micro-forat negre.

Tanmateix aquesta fractura de l'espai-temps no tindria, ni de bon tros, cap repercussió en el món macroscòpic, ni el nostre ni el d'Star Trek. Només cal observar l'escala a la qual treballem: trenta cinc zeros per sota del metre. Però si volguéssim crear una fissura

Física vint-i-quatre vegades per segon.

visible per als nostres ulls, la quantitat d'energia necessària es transformaria en un valor absolutament desorbitat.

Sovint es subestima l'energia de Planck ja que se la tracta com si fos una magnitud absoluta, i no en relació a les altres unitats de Planck. Però treure's aquest prejudici del cap és en realitat un procés força senzill. De fet, només cal calcular l'energia necessària per obrir una fractura d'un metre, suficient per a que hi passés un nen petit o una persona ajupida. El resultat és aclaparador: aproximadament, $1,21028 \times 10^{44}$ Joules.

Un altre manera d'entendre l'enorme potencial de l'energia de Planck és considerant el significat d'electró volt. Aquesta unitat equival a la quantitat d'energia cinètica que guanya un electró si l'accelerem en un sistema de diferencial potencial 1 volt. Per tant, el valor 10^{28} electró volts significa que hem de subministrar a un sol electró una energia de $1,60217 \times 10^9$ Joules.

Aquest valor supera un trilió de vegades l'energia que es capaç de produir la màquina més potent avui dia, el gran col·lisionador d'hadrons (LHC, sigles de l'anglès), que és capaç d'accelerar les partícules fins a valors d'energia propers als del Big Bang. Si algun dia fóssim capaços de dominar aquesta enorme força, llavors ens convertiríem en els nous arquitectes de l'univers: forats de cuc, viatges al passat i fins i tot nous universos, serien senzilles creacions d'una eina excepcional.

Però el nombre per si sol converteix aquesta proposta en una idea absurda. Un 1 seguit de 44 zeros és el sobrenom irònic del Senyor Impossible.

Tanmateix, els realitzadors d'*Star Trek* no semblen opinar el mateix, tal com demostren en alguns dels seus capítols. Seguidament mostrem dos casos en els que s'han originat fractures en l'espai-temps; i exposem tan l'origen de la fractura com la seva viabilitat:

- ***Otra vez al pasado.*** En aquest capítol de la primera temporada de *Voyager*, l'*Enterprise* rep una enorme ona de xoc mentre està travessant un sistema d'enana vermella. L'origen és un estrany accident que ha tingut lloc en un planeta proper, i que ha destruït per complet la civilització que hi vivia. Encuriosits per saber quina és la misteriosa força capaç d'alliberar una quantitat tan formidable d'energia, baixen a investigar el planeta. Llavors la Capitana Janeway i Tom Paris “cauen” en una fractura espacio-temporal, que els transporta al passat, quan l'accident encara no havia tingut lloc i es troben envoltats d'una florent civilització. Quan descobreixen on i quan es troben, Paris i Janeway decideixen intentar trobar el desencadenant de l'accident i així

evitar el desastre. En les seves investigacions descobreixen un grup terrorista que té la intenció de provocar un petit accident, per tal de fer adonar al govern de la perillositat de la font d'energia que utilitzen: els **ions polàrics** (Veure glossari). Finalment Janeway s'adona de que ella mateixa és la causant de l'accident, i que està apunt de presenciar la seva pròpia mort, però rectifica amb el temps suficient per evitar la catàstrofe. El capítol conclou amb la mateixa escena que a l'inici, en la que la nau *Enterprise* travessa el sistema i observa un petit planeta habitat, que seguint el protocol d'actuació, decideixen ignorar.

Un dels encerts d'aquest capítol és que es té en compte que l'energia necessària per a provocar fractures en l'espai-temps és d'una magnitud aclaparant, fins al punt que implica el sistema de subministrament d'energia de tot un planeta. Els ions polàrics són utilitzats com un símil de l'energia nuclear: alliberen grans quantitats d'energia sense necessitat de combustió, però són bastant inestables i poden originar accidents perillosos per a la població. Malgrat tot, l'energia de Planck és molt superior als valors assumibles per una explosió local d'aquest tipus. Michio Kaku ens ofereix una visió clara dels requisits necessaris per a obtenir l'energia de Planck:

“La tecnología necesaria para explorar esta increíble energía puede requerir colisionadores de átomos de miles de millones de kilómetros de longitud, o una tecnología radicalmente nueva. Incluso si llegáramos a agotar el producto interior bruto total del mundo y construir un colisionador de átomos superpotente, no seríamos capaces de acercarnos a esta energía. A primera vista, parece una tarea imposible dominar este nivel de energía” (Pàgina 392, *Hiperespacio*.)

De fet, només cal buscar mostres exteriors de l'energia de Planck. Són inexistents. Les descàrregues energètiques que més s'aproximen a aquest valor són els fabulosos raigs còsmics. Aquests són emissions de partícules d'alta energia provinents de l'espai, i que poden arribar a l'increïble energia de 10^{20} electró volts -segons han pogut detectar diferents sensors a la Terra-. Però fins i tot aquests espectaculars fenòmens es troben lluny de l'energia de Planck: és uns cent milions de vegades menor que l'energia necessària per realitzar una fractura de l'espai-temps.

Així doncs, aquest capítol presenta una situació rotundament impossible pel que fa les fractures espacio-temporals. És cert, però, que la destrucció del planeta en les condicions presentades no està prohibida. Tenint en compte que l'energia polàrica es pot considerar com un símil de la nuclear, només cal observar la nostra pròpia situació.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

L'any 1969 existien 16.000 bombes H de 20 megatons. Considerant que 1.600 bombes H d'aquesta capacitat ja serien suficients per a destruir tot el món, posseïm el material suficient per exterminar la vida a la Terra deu vegades. Per tant, l'episodi d'*Star Trek* representa una situació equivalent i igualment possible.

El que queda fora de l'abast, fins i tot de l'energia alliberada per tot el material nuclear terrestre, és la possibilitat de crear esquerdes en l'espai-temps. Així doncs el desastre que narra *Star Trek* no compleix les condicions necessàries per originar una singularitat d'aquest tipus.

Un altre detall que cal matissar és la referència continuada a algun tipus d'ones, que mantenen obertes les fractures espacio-temporals. La naturalesa d'aquesta ona no queda clarificada en la sèrie, però s'intueix que poden ser mostres residuals de l'energia de l'explosió. Encara que això no és possible, el que sí que té sentit és que es tractin d'ones gravimètriques. Suposant per un moment que durant l'explosió assoleixen l'energia de Planck per originar fractures en l'espai-temps, la gravetat de la zona del voltant canviaria. Aquestes fissures en l'espai-temps podrien ser petits forats de cuc que mantinguessin enllaçats punts allunyats de l'espai, i que crearien un camp gravitatori al seu voltant. Tanmateix, aquests canvis en la gravetat de la zona no es transmetrien instantàniament. De la mateixa manera que quan tirem una pedra a un estany les ones concèntriques necessiten cert temps per desplaçar-se, i per tant la informació del canvi d'estat tarda més a arribar a les vores de l'estany que als nenúfars del voltant; quan es produeix un canvi en la deformació de l'espai s'originen unes ones gravimètriques que s'encarreguen de transmetre els canvis. L'ona que rep l'*Enterprise* quan està travessant el sistema seria una ona d'aquest tipus. Una ona de xoc com a tal no tindria cap sentit, ja que les ones de xoc només es poden desplaçar a través d'un fluid, i no pel buit. Aquestes ones gravimètriques podrien ser constants en un indret en que s'estan desintegrant contínuament forats de cuc; però, al contrari de com apareix a la sèrie, no serien els artefactes capaços de mantenir-los oberts, sinó els signes de la seva desaparició.

Independentment d'aquests errors, hi ha altres aspectes del capítol que val la pena contemplar. Un d'ells és que la fractura del teixit només afecta a la coordenada temporal. Així doncs, Janeway i Paris presenciarien el passat en un mateix marc espacial. És un detall interessant, ja que les fractures espacio-temporals, com ja indica el propi nom, acostumen a ser fissures que afecten les quatre dimensions, tals com els forats de

Física vint-i-quatre vegades per segon.

cuc o els universos paral·lels. Però una fractura temporal seria la porta d'una màquina de temps. Introduint-nos en aquestes fissures podríem viatjar al passat i al futur.

Aquest tema és un dels subjectes més espinosos de la física. En teoria, no hi ha cap llei que prohibeixi viatjar al passat. Transportar-se al futur ja és possible, com demostra la teoria de la relativitat. Atès que, a mesura que augmenta la velocitat també s'alenteix el pas del temps, un viatge al futur seria tan senzill com passar un breu període de temps en l'espai exterior movent-nos a una velocitat pròxima a la de la llum, i quan tornéssim, comprovaríem que aquí han passat mesos, i potser fins i tot anys.

Però el viatge al passat és més complicat. En primer lloc, és una font interminables de paradoxes. Què passaria si viatgéssim al passat i matéssim el nostre pare? En el capítol mateix se'n mostra una: en introduir-se en la fissura temporal, acaben evitant l'accident que ha provocat la fractura i que els ha portat fins allà. Com és possible?

Per evitar aquestes incòmodes preguntes, Hawkings va intentar demostrar que el viatge en el temps era impossible, introduint una “conjectura de la protecció de la cronologia”. Tanmateix, anys més tard la seva teoria va ser enderrocada per Bernard Kay, Marek Radzikowski i Robert Wald, que van evidenciar que el viatge en el temps era perfectament compatible amb els lleis de la física. Únicament hi ha una excepció: l'horitzó de successos. Recordem que l'horitzó de successos és l'última frontera dels forats de cuc i negres, el punt de no-retorn. En aquest indret la teoria de la relativitat deixa de tenir sentit i s'apliquen les lleis de la física quàntica a nivell macroscòpic. Però per poder calcular els efectes radioactius i altres detalls relacionats amb el viatge en el temps, es necessita un model capaç d'unir la teoria quàntica amb la de la relativitat. I aquí és on entra en joc, definitivament, la teoria del Tot.

Si algun dia poguéssim aplicar aquesta teoria unificada als forats de cuc, llavors sabríem finalment si fractures temporals com la que apareixen en aquest capítol són possibles o no. De moment, sabem amb certesa que no existeix cap llei de la física que les prohibeixi.

I pel que respecta a les paradoxes temporals, trobem la resposta en una de les teories més boniques i interessants nascudes en el bressol de la física quàntica: els “molts mons quàntics”. Tot i que després tractarem aquest concepte amb més profunditat, la idea general és que, cada cop que té lloc un esdeveniment quàntic, l'univers es desdobla en dos nous universos diferents. Per exemple, en la paradoxa del gat d'Schrödinger, quan

Física vint-i-quatre vegades per segon.

féssim l'observació sobre el sistema, el nostre univers es ramificaria automàticament en dos universos paral·lels: en el primer, el gat estaria viu i l'urani no s'hauria desintegrat; en el segon, sí que s'hauria desintegrat i per tant el gat hauria mort. Com podem veure, aquesta teoria implica també la ramificació de la línia temporal. Per tant, la paradoxa que planteja *Star Trek* es pot resoldre de la manera següent (Veure annex 4, on es pot trobar un esquema explicatiu) :

Considerem que, quan s'introdueixen en la fractura temporal, es produeix automàticament una bifurcació que els transporta a un univers paral·lel nou. Aquest univers paral·lel acaba de néixer, de manera que no hi ha un “abans” sobre el que preguntar-se. En aquest segon univers poden succeir dues coses: o eviten l'accident, i per tant viuen (un tercer univers paral·lel), o es produeix l'explosió i moren (quart univers paral·lel). Segons la teoria quàntica, els dos fets tenen lloc i es materialitzen en dos universos paral·lels diferents.

Un detall imprescindible és que l'explosió materialitzada en el quart univers, ha d'estar connectada també amb el primer univers. Si aquesta condició es compleix, llavors el sistema funciona a la perfecció, i cada vegada que s'entra en una fissura temporal s'origina una ramificació diferent, que condueix a universos paral·lels diferents units per un sol punt: l'explosió. En teoria, aquest enllaçament puntual és possible.

El que diferencia un univers paral·lel d'un altre és la funció d'ona: quan realitzem una mesura, en cadascun col·lapsa de manera diferent. A poc a poc, els universos paral·lels es van allunyant uns dels altres degut a un fenomen que s'anomena decoherència. Aquest és un procés segons el qual, a causa del moviment i les col·lisions dels àtoms entre si, les funcions d'ones col·lapsen contínuament i es perd l'**estat de coherència** (Veure glossari). Així doncs, les continuades interferències entre els sistemes van eliminant la superposició d'estats en la funció d'ona, i permet que observem els cossos macroscòpics en un estat definit.

La decoherència a gran escala d'aquests universos paral·lels és la que impedeix que entrin en contacte. Podem representar-lo de la següent manera: imaginem que posseïm suficient espai per a col·locar seixanta persones en rotllana. Una parella qualsevol tria una frase llarga, d'unes vint paraules. Per exemple: “Quan el teu avi va marxar a França, a casa vam plorar tota la nit. La veïna del cinquè ens va portar cireres verdes i sabó de romaní, però es va quedar esglaiada en veure el gat miolant d'aquella manera.” Imaginem que es posen d'acord i fan una petita variació en al frase: en una hi diu

Física vint-i-quatre vegades per segon.

“cireres verdes” i en l'altre “cireres vermelles”. Comencen a dir la frase a cau d'orella del company del costat, i així va passant a poc a poc fins que es completa la rotllana. Comprovarem que al final, la diferència s'haurà magnificat. Els errors s'hauran anat acumulant fins que al final ens toquem amb dues frases completament diferents. De la mateixa manera, els dos universos paral·lels perden la coherència i s'allunyen cada cop més un de l'altre.

Però la realitat és que és possible enllaçar un altre cop els dos cosmos: només és necessària una quantitat fabulosa d'energia per a fer vibrar a l'uníson els dos universos, de manera que recuperin la seva funció d'ona inicial. Aquest estat de coherència permetrà un altre cop una funció d'ona neta, sense interferències, amb dos estats equiprobables que es materialitzaran en dos universos paral·lels nous. L'encert del capítol és que justament aquest punt d'entrellaçament és possible gràcies a l'enorme quantitat d'energia alliberada durant l'explosió, i que podria ser suficient per posar en contacte els dos universos paral·lels. Tot i que no hi ha manera de conèixer quina és la quantitat d'energia necessària per enllaçar dos universos, la resposta és que segurament depèn del temps que han estat separats, i per tant, del seu estat relatiu de decoherència. Com que l'espai temporal de separació d'aquests dos universos és relativament curt, l'energia de l'explosió podria ser suficient per tornar-lo al seu estat original. En canvi, per a dos universos paral·lels separats per milions d'anys, aquest valor hauria de ser com a mínim igual a l'energia de Planck.

En realitat, doncs, la fissura presentada en aquest capítol és un bifurcació de la línia temporal que es materialitza en un univers paral·lel. Només la teoria unificada és capaç d'explicar les propietats de l'horitzó de successos, que necessitem per saber si el viatge en el temps és realment possible. Tanmateix, actualment no trobem cap llei de la física que prohibeixi el viatge del temps, de manera que el capítol no comet cap error en aquest sentit. En el que sí que s'equivoca és en la formació de fractures de l'espai-temps a causa de l'explosió: l'energia necessària és una fita que queda més enllà de les possibilitats de la civilització de la sèrie, fins i tot tenint en compte la magnitud de la tragèdia que hi té lloc.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

- **Paralelos.** Aquest capítol de la setena temporada de *The Next Generation*, presenta una situació interessant en que un camp factorial (o camp de distorsió) és capaç de crear una fractura de l'espai-temps.

La història comença quan l'oficial Worf, després de tornar d'una competició de lluita, comença adonar-se de que canvis subtils estan tenint lloc contínuament a l'*Enterprise*. Finalment descobreix que està sent transportat a universos paral·lels, ja que es troba a dintre d'una fractura de l'espai-temps i els missatges subespacials (veure apartat: *Un univers d'onze dimensions?*) reactiven els canvis d'univers. Llavors intenta trobar desesperadament la manera de tornar al seu univers original, però no ho aconsegueix, i la fissura espacio-temporal acaba per trencar-se, provocant que tots els universos paral·lels entrin en contacte. Per sort, Worf descobreix l'origen del problema: en el seu viatge de retorn va passar per una fractura espacio-temporal, i inconscientment en va augmentar la mida. Finalment refà el seu camí de tornada i emet un camp factorial invers capaç de segellar la fractura.

Velocitat factorial és el nom que utilitzen a la sèrie per traduir *warp speed*. Per tant, podem deduir que un camp factorial seria un camp de distorsió de l'espai. Teòricament, un camp factorial contrauria i estiraria l'espai, però és impossible que l'arribés a trencar; a no ser que s'utilitzes un valor d'energia igual o superior a la de Planck. Com que no trobem cap indicatiu a la sèrie que ens pugui fer pensar que realment s'inverteix tal quantitat d'energia, cal descartar aquesta opció.

El que sí que és possible és que existís prèviament una fractura espacio-temporal -formada per raons desconegudes- i que, mitjançant la Propulsió Alcubierre, les tensions aplicades al teixit espacio-temporal conjuntament amb l'energia utilitzada durant el procés, ampliïn la fissura. Aquesta proposta sembla encaixar força bé en la situació narrada en aquest capítol d'*Star Trek*.

Tanmateix, quan intentem lligar tots els caps, apareix una forta contradicció. Existeixen diferents versions de la teoria d'universos paral·lels, que estudiarem a continuació en el següent apartat. En la sèrie, les propietats que mostren aquests universos paral·lels i el mecanisme amb el qual s'accedeix a ells, condueixen respectivament a models diferents i incompatibles.

En primer lloc, una fissura en l'espai podria ser la porta d'entrada a un univers paral·lel ubicat dintre del marc de la teoria de cordes. Aquest model recolza la hipòtesi que el

Física vint-i-quatre vegades per segon.

nostre univers és una membrana flotant en un hiperespai d'11 dimensions. A partir d'aquesta suposició, planteja una qüestió inquietant: som els únics habitants d'aquest hiperespai? El teixit del nostre univers podria coexistir perfectament amb un altre bombolla membranosa, corresponent a un univers diferent. De fet, podria conviure amb un nombre infinit d'universos paral·lels.

Gràcies a fractures en l'espai-temps podríem ser capaços d'accedir a un univers paral·lel d'aquest tipus. Els forats de cuc i els forats negres són algunes de les dreceres que ens permetrien saltar d'un univers a un altre. Podem imaginar aquestes connexions entre universos diferents com dues bombolles unides. Les membranes es tocarien, però estant en la pell d'una bombolla seria impossible passar a la de l'altre. Podríem intentar rascar el finíssim teixit que les separaria, però potser acabaríem per trencar-les. Només mitjançant una agulla -la punxant i colpidora energia de Planck- seriem capaços de crear un pont entre les dues bombolles... Un estret camí entre dos universos paral·lels.

Tanmateix, a diferència del que passa en la teoria dels “molt mons” quàntics, aquests universos no tenen per què tenir propietats semblants. No existiria cap connexió causal entre ells, de manera que fàcilment ens podríem trobar en un univers mort fet de pols i gasos freds.

Aquesta última definició xoca amb les propietats que presenten els universos paral·lels d'aquest capítol. Això és degut a que en realitat les característiques descrites encaixen dintre del model de “molt mons” quàntics, explicat anteriorment. Els universos paral·lels presenten característiques semblants ja que estan lligats per algun punt, el punt a partir del qual una funció d'ona pot col·lapsar de dues maneres diferents i originar dues històries causals diferents. Cap al final del capítol apareix una escena meravellosa, en la que es trenca la barrera entre els diferents universos paral·lels i tots convergeixen en un mateix espai. Seria el mateix que si decidíssim reescriure un conte infantil des de diferents punts, especulant sobre què hauria passat si un fet determinat no hagués ocorregut o senzillament hagués tingut lloc de manera diferent: la Ventafocs si la seva mare no s'hagués mort, la Ventafocs si el seu pare no s'hagués tornat a casar, la Ventafocs si no hagués trobat la seva Fada Madrina, la Ventafocs si no s'hagués deixat deixat la seva petita sabata de cristall... I és clar, no podem oblidar algunes de les versions més extravagants, com la Ventafocs si hagués decidit fer-se monja, la Ventafocs amb una mica de personalitat que s'hagués rebel·lat a l'autoritat de la seva madrastra, la Ventafocs si hagués sortit cames ajudeu-me (i força assenyadament) en

Física vint-i-quatre vegades per segon.

veure convertir-se una carbassa en una carrossa o la Ventafocs si hagués fugit amb un apassionat gitano d'una fira ambulat en comptes de casar-se amb un príncep bleada.

Totes aquestes històries mantindrien alguns trets en comú, i un eix central més o menys semblant depenent del punt a partir del qual es bifurcarien; de la mateixa manera que passa a *Star Trek*. Així doncs a l'escena final tots els universos que apareixen mantenen en comú l'existència de l'*Enterprise*, però en un la Federació ha sigut derrotada pel Borg, en una altre el capità Picard ha mort, en un tercer Worf està casat amb la consellera Deanna Troi, etc.¹³

Posar en contacte tots aquests universos paral·lels seria possible, però extremadament costós. Com en el capítol analitzat anteriorment, caldria una gran quantitat d'energia per tal de poder modificar la funció d'ona de tots els universos paral·lels fins reduir-la a un mateix estat de coherència. En aquest cas, atès que els nombre de cosmos diferents implicats és molt major, la quantitat d'energia necessària també seria extremadament superior, segurament fora de les possibilitats de la Federació.

La solució que finalment s'aplica és profundament contradictòria. Com ja hem indicat, caldria canviar la funció d'ona dels universos, però el que es fa és crear un camp factorial invers. Aquest sistema podria ser vàlid per a una fissura de l'espai-temps que connectés dos universos paral·lels en el context de la teoria de cordes, però no té cabuda en el model quàntic. Cal destacar-ho, doncs, com un altre error de la sèrie.

El valor d'aquest capítol en el context de fractures de l'espai-temps és força pobre. No presenta gaire complexitat, i tot i això, és un model inviable. Tanmateix, cal dir que el contingut sobre universos paral·lels -malgrat estar ple de contradiccions- és interessant.

Com hem pogut observar, les fractures de l'espai-temps no són només una demostració de la força brutal i despietada de la natura. A vegades, darrere de la seva aparença cruel amaguen un tresor màgic, fabulós, i especialment, inigualable: un nou univers.

¹³ Per als que no coneguin a fons la sèrie, aquestes serien circumstàncies estranyes que queden fora del fil argumental de la sèrie. És a dir, serien situacions fictícies imaginables únicament en mons paral·lels.

4.2. Universos paral·lels.

“A diferencia de Newton y de Schopenhauer, su antepasado no creía en un tiempo uniforme, absoluto. Creía en infinitas series de tiempos, en una red creciente y vertiginosa de tiempos divergentes, convergentes y paralelos”. Jorge Luis Borges.

L'univers en el que vivim és un paratge pràcticament desconegut. El nostre camp d'acció és diminut en comparació a la immensitat del cosmos, de la mateixa manera que la Terra és esquifida si la comparem amb la mida la nostra galàxia. Però tot i així, la raça humana ha manifestat al llarg de la seva història un desig latent, sovint ocult, d'explorar nous universos. Potser consisteix en un mètode de fugida, a partir de qual traduïm la necessitat d'escapar de la nostra realitat quotidiana en la possibilitat de que existeixi un altre univers, una vida diferent. Únicament un mecanisme de defensa, una esperança absurda i cega en el relativisme i la mala sort. Qui sap si l'origen del concepte d'universos paral·lels neix d'una necessitat tan poc poètica com l'intent d'imaginar quina hauria sigut la nostra vida si haguéssim actuat diferent. Un intent d'evadir les nostres responsabilitats que s'acaba convertint en un consol feixuc i trist.

En altres casos, un univers paral·lel és simplement una font d'imaginació, un marc per a recrear tot allò que creiem que és impossible en el nostre univers. Tenint en compte algunes de les conclusions sorprenents d'aquest treball, potser caldria que ens aturéssim a observar més detingudament el món que ens envolta, i llavors descobriríem que algunes d'aquestes “idees forassenyades i impossibles” tenen cabuda en el nostre propi univers.

Independentment de la causa psicològica que s'hi amaga, el cert és que la necessitat d'inventar nous mons ha sigut una constant en la fantasia i la ciència-ficció. I com ha passat tantes altres vegades, després ha arribat la justificació de la ciència.

El que és curiós en la recerca científica que envolta aquest cas, és que les explicacions han sigut aportades per dues de les grans teories sorgides durant el segle XX (una és

Física vint-i-quatre vegades per segon.

conseqüència i es desenvolupa a partir de l'altre) més innovadores i que han gaudit de més importància en el món físic dels últims anys: la mecànica quàntica i la teoria de cordes.

Seguidament realitzem una petita ressenya de les dues teories d'universos paral·lels més acceptades actualment, així com d'alguns exemples que apareixen a *Star Trek*, en els que analitzem si compleixen o no les característiques imposades per alguna de les dues teories. Cal tenir en compte que els dos models d'universos paral·lels ja han sigut introduïts breument en l'apartat anterior, i per tant que algunes de les explicacions que fan referència als capítols analitzats també s'hi poden trobar allà:

- El **multivers**. Aquest model es basa en la teoria de cordes i la seva singular manera de representar l'univers. La teoria de cordes va sorgir a finals del segle XX com una proposta original i sorprenent. El pressentiment general va ser que aquesta idea fresca i extravagant es convertiria en poc temps en l'esperada Teoria del tot. Però el cert és que ja han passat trenta anys i encara no s'hi ha convertit. S'ha intentat fervorosament amb resultats sorprenents i avenços fabulosos, però de moment no s'ha aconseguit. Com a mínim, és impossible negar que ens hem apropat al nostre objectiu.

La base de la teoria de cordes es troba en una senzilla metàfora visual. Imaginem que l'única manera que tenim de percebre l'univers és mitjançant el so. No tenim ni ulls, ni nas, no boca, ni pell capaç de sentir: únicament unes orelles relluents i enormement boniques. Llavors podríem crear una escala musical infinitament extensa, en la qual encabiríem totes les partícules que poguéssim escoltar. Potser trobaríem cossos muts, que no podríem percebre però que apareixerien en les solucions matemàtiques de les nostres equacions i estaríem obligats a acceptar. Encara que no les haguéssim sentit mai, els hi donaríem un lloc a la nostra superescala musical, i així podrien ser descrites de la mateixa manera que totes les coses que coneixem.

La teoria de cordes intenta un procediment semblant. Podem concebre l'univers com una corda gegant, que depenent com vibri originaria les diferents partícules que podem percebre al nostre voltant. Així cada nota correspon a una partícula subatòmica diferent.

El problema és que, malgrat s'aconsegueix representar força bé el ventall de partícules existents, aquesta teoria no és capaç d'unificar la teoria de la relativitat amb la física

Física vint-i-quatre vegades per segon.

quàntica. Què passaria en l'horitzó de successos d'un forat negre és un misteri fins i tot per la brillant teoria de cordes.

Però aquesta teoria no és tan senzilla com pot semblar. Tot i que la idea de base és simple i és la mateixa per totes, existeixen cinc versions diferents de la teoria de cordes. I el que és més curiós: és necessari descriure l'univers en deu dimensions per a que funcioni. Si finalment desitgem unir les cinc versions en una de sola, només cal que entenguem l'univers com una membrana, hi incloquem una onzena dimensió i *voilà!* Tenim una teoria que ens descriu l'univers com una membrana flotant en un espai d'onze dimensions.

Com ja hem comentat anteriorment, aquesta concepció obre la porta als universos paral·lels: no existeix cap raó per la qual hagem de considerar que aquesta membrana és la única que flota en l'hiperespai d'11 dimensions.

Pel que fa la gravetat, es podria moure lliurement per l'hiperespai situat entre els diferents universos. Atès que es tracta d'una deformació del teixit de l'espai-temps, té la capacitat d'ocupar l'espai entre els universos paral·lels, i fins i tot d'envair el territori d'un univers diferent i consegüentment deformar-ne el seu teixit espacio-temporal (que es tradueix com efectes gravitatoris).

Al mateix temps, la comunicació entre aquestes membranes seria possible gràcies a l'existència de forats de cuc del tipus inter-univers. El capítol analitzat anteriorment: "Paralelos", presenta una fissura de l'espai-temps que actua com un d'aquests ponts inter-universals. Tanmateix, com ja hem indicat, es troba envoltat de contradiccions i errors.

Un millor exemple de la possible connexió entre dos universos del *multivers*, és la que presenta el capítol "El sendero", de la segona temporada de *Deep Space Nine*. En aquest episodi la governadora Kira pateix un accident mentre està travessant el forat de cuc i va a parar a un univers mirall, on coneix la seva representació-mirall. Però no triga gaire a descobrir que la realitat en aquest cosmos paral·lel és totalment diferent: la seva doble és una dictadora capritxosa i sense escrúpols, que permet que el seu poble -Bajor- es doblegui sota la força del invasors romulans, els quals utilitzen els humans com miserables esclaus.

Aquesta situació encaixa en el model de *multivers* ja que els dos universos no estan connectats causalment entre si -podem considerar el fet que en tot dos apareguin els

Física vint-i-quatre vegades per segon.

mateixos personatges com una casualitat, producte d'una evolució semblant de tots dos cosmos-, i sobretot pel fet que estan connectats entre si mitjançant una singularitat de l'espai-temps.

Un aspecte controvertit que cal matisar és el fet que tingui lloc un *accident* mentre estan travessant el forat de cuc, que els envia a l'univers mirall. L'estabilitat dels forats de cuc és un dels problemes més important que cal afrontar a l'hora de travessar-los. És possible que desenes de ponts Einstein-Rosen que connecten universos diferents neixin i es desintegren cada segon a diferents indrets de l'espai exterior, però aquesta classe de forat de cuc no permeten el transport. Fins i tot en alguns tipus de forats de cuc practicables la falta de matèria exòtica impossibilita la seva viabilitat, atès que es tracta d'un requisit imprescindible. Així doncs, un accident fortuït que canviï el destí del forat de cuc és impossible tal com entenem aquest tipus de singularitat avui dia. Una explicació possible a aquest estrany comportament és que, esporàdicament, s'originés un forat de cuc inter-universal que connectés amb l'univers mirall. La matèria exòtica necessària per estabilitzar el forat de cuc principal, podria servir per mantenir obert un canal secundari el temps suficient per a que passés la nau. Després, en el retorn, la mateixa nau podria produir una petita quantitat d'energia negativa -recordem que també és necessària per a la propulsió Alcubierre, i per tant les naus han de comptar amb una tecnologia capaç de crear matèria exòtica- per tornar a obrir temporalment el forat de cuc de tipus inter-univers.

Si considerem aquestes possibilitats com vàlides, llavors aquest capítol representa d'una forma versemblant la comunicació en el *multivers*. En conclusió, hem d'acceptar que l'univers que presenta *Star Trek* és una bombolla més flotant per un hiperespai d'11 dimensions. Però això no és incompatible amb l'existència dels “molts mons” quàntics.

- Els **“molts mons” quàntics**. Hugh Everett va presentar la seva teoria dels “molts mons” com un model d'universos paral·lels que al mateix temps donava resposta a algunes de les preguntes més controvertides de la física quàntica. En un primer moment la seva acceptació va ser pobre i va semblar que es perdria en l'anonimat. Però amb el temps, la bellesa i senzillesa de la seva teoria van anar calant en el món científic fins a convertir-la en una teoria reconeguda arreu del món.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

La formació dels universos paral·lels en aquest model rau en el cor de la mecànica quàntica. Cada cop que realitzem una observació, la funció d'ona del sistema col·lapsa. Segons la teoria dels “molts mons”, cadascun dels estats possibles es materialitza en un univers nou. Aquests “desdoblaments” d'universos són constants i imperceptibles per nosaltres. Tot i així, el contacte amb aquests mons paral·lels és difícil, ja que fenòmens com la decoherència ens n'allunyen contínuament, augmentat el nostre aïllament.

Els dos capítols comentats en l'apartat anterior: “Otra vez al pasado” i “Paralelos”, són dos bons exemples de les propietats i les funcions d'aquest model d'universos paral·lels.

S'ha de dir que en el camp d'enllaçament de la teoria dels “molts mons” quàntics amb el llenguatge del cinema, el segon capítol presenta alguns encerts deliciosos i sorprenents. Ens trobem amb que els primers universos als quals es trasllada accidentalment l'oficial Worf són extremadament semblants al seu. De fet, els canvis entre ells són tan insignificants, que Worf no els hi dóna importància. A mesura que avança el dia, les modificacions entre uns i altres són cada cop més importants, fins a transportar-se a *Enterprises* que estan realitzant missions diferents. A més a més d'establir un excel·lent ritme narratiu, aquests salts cada cop majors concorden harmònicament amb la teoria de decoherència: els primers universos que visita són mons quàntics acabats de formar, i per tant pràcticament idèntics. Però a mesura que passa el temps i s'allunya del seu univers original, la decoherència entre universos creix i les diferències es fan més notòries.

Cal reconèixer que aquest capítol, amb les correccions adequades, podria ser una de les fusions més aconseguides entre ciència i narració, en la que un fenomen físic s'adapta la perfecció a un ritme narratiu en el que la tensió batega in crescendo.

En conclusió, aquestes dues teories són els models més coneguts actualment d'universos paral·lels. Però el fet que tots dos tinguin cabuda a l'univers *Star Trek* ens ha de fer reflexionar.. I és que, són compatibles les dues teories? És una pregunta confusa, ja que els dos models estan descrits en llenguatges diferents. El *molts mons* es troba emmarcat dintre la física quàntica i per tan s'expressa en funcions d'ona, estats de coherència i col·lapses. El *multivers*, en canvi, parla de membranes vagant per un sistema d'onze dimensions. Relacionar-ho és realment difícil.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

La veritat però és que, en teoria, no hi ha cap criteri que indiqui que els dos sistemes no poden coexistir. Per tant, podríem considerar que tots dos són models viables i capaços de conviure a l'hora de descriure l'univers d'*Star Trek*.

4.3. Un univers d'11 dimensions?

La teoria de cordes d'onze dimensions planteja una pregunta tan immediata com interessant: es poden aprofitar les altres dimensions per al transport o la transmissió d'informació?

El cert és que actualment es pensa que aquestes dimensions són en realitat infinitament més petites, és a dir, es troben tan superenrotllades que no les podem apreciar. Una metàfora explicativa és imaginar que enrotllem al màxim un full de paper. En el seu estat normal, el podríem observar fàcilment i percebem que és un cos de dues dimensions. Però si l'enrotllem fins a formar un cilindre minúscul, únicament podrem observar un punt des de l'angle frontal, i una prima línia des de la visió lateral. Tindrem la sensació que en realitat és un objecte unidimensional, és a dir, haurem passat per alt l'existència d'una segona dimensió, que no podem apreciar. Aquesta estat portat a l'extrem seria equivalent al de les dimensions inferiors.

Una de les primeres crítiques que va rebre la teoria de cordes, és que l'existència d'aquestes dimensions més baixes i inapreciables és indemostrable. Però ràpidament va sorgir una resposta. Per al cas de dimensions més petites, s'està intentant trobar una partícula en els gegants acceleradors de partícules que correspongui a altes vibracions de la corda, equivalents a les baixes dimensions.

Si en canvi, es vol demostrar l'existència de dimensions més altes, només cal buscar alteracions en la llei de la gravitació universal. La introducció d'una nova dimensió superior canviaria les lleis de la física tal com les coneixem, ja que implicaria una distribució de les forces no en tres, sinó en quatre dimensions espacials. Aquesta recerca també està tenint lloc avui dia.

Tot i que encara no s'ha aconseguit cap progrés en la demostració de l'existència d'altres dimensions; la seva teorització ja és un fet. Com a mínim, això ens permet especular sobre les possibles aplicacions d'aquest model d'univers en el món d'*Star Trek*.

El subespai.

El subespai, més conegut popularment com *hiperespai*, es pot entendre com una altra dimensió a través de la qual és possible transmetre informació, i fins i tot transportar-se. A Star Wars, aquesta dimensió és la protagonista del conegut: *Salto al hiperespacio*, de l'intrèpid Han Solo.

Però aquesta dimensió és superior o inferior? Trobem indicis que ens fan pensar que podria ser la primera opció. El concepte original de la ciència ficció, l'*hiperespai*, sembla fer referència a una dimensió més alta. Però, si és que realment existeix, és possible utilitzar-la de la manera com apareix a la sèrie?

Avui dia la resposta a aquesta pregunta és força controvertida. Varis laboratoris treballen buscant possibles alteracions a escala mil·limètrica de la llei de Newton, que podrien corroborar l'existència d'aquesta dimensió superior; però de moment no han obtingut resultats. *Star Trek* ens ofereix molts detalls sobre les seves aplicacions, però pocs sobre la seva naturalesa: l'utilitzen principalment en el camp de la informació, de manera que el subespai es veu involucrat en la transmissió d'impulsos de procedència desconeguda, missatges de so i veu, i fins i tot, el raig tractor (malgrat que per aquest últim, tal i com l'hem definit en aquest treball, no té cap sentit utilitzar una dimensió superior).

Cal suposar, doncs, que l'ús d'aquesta dimensió facilita i agilitza els processos de comunicació. Tanmateix, una dimensió *superior* sembla indicar tot el contrari. *Superior* és sinònim de més gran, i per tant més distància, més temps i més energia.

Una de les possibilitats que existeix és que en introduir una quarta dimensió apareguin propietats especials encara desconegudes. En teoria, la introducció d'una altre dimensió no canvia les lleis de la física; però pot ser que descobrim que certs aspectes d'aquestes mateixes lleis afecten de manera diferent a la quarta dimensió. De la mateixa manera que un camp electromagnètic s'estructura i presenta característiques diferents si el dissenyem en tres dimensions en comptes de dos, es poden descobrir noves aplicacions

Física vint-i-quatre vegades per segon.

o matisar certs aspectes de les forces fonamentals si en comptes d'amb tres, treballem amb quatre dimensions espacials.¹⁴

Això planteja una situació interessant. A mitjans del segle XIX, un matemàtic pobre i desconegut però increïblement brillant va ser escollit pel *príncep de les matemàtiques*, Gauss, per a que fes una conferència en la qual havia de solucionar alguns dels problemes fonamentals de la geometria euclidiana del moment. Aquest deixeble, anomenat Riemann, va aportar una idea fonamental, la base teoria de la relativitat i el primer gran avenç per trencar amb la idea d'*acció a distància* iniciada per Newton, és a dir, que els cossos podien exercir forces un sobre altres sense tocar-se. La idea de Riemann va ser senzilla: la Força està produïda per la Geometria. Incloent una quarta dimensió, era possible explicar forces com la gravetat o l'electromagnetisme com una distorsió de l'espai. Així, també va descobrir un altre de les bases fonamentals de la física actual: afegint més dimensions és possible simplificar les lleis de la natura. Aquest és exactament el principi que utilitza la teoria de cordes.

La clau d'aquesta teoria és que, introduint noves dimensions i descrivint les forces com a distorsions de l'espai, seria possible que les dimensions més altes es deformessin de manera que fos útil utilitzar-les. De la mateixa manera que la gravetat afecta a l'espai tridimensional i origina dreceres espacials com els forats de cuc, seria possible que algunes de les forces fonamentals produïssin efectes aprofitables en les altres dimensions.

Per explicar-ho, imaginem un full blanc. Dibueixem una línia blava de punta a punta d'aquest full. Per un cos puntual que es mogui en aquest espai bidimensional, la manera més ràpida de travessar el full serà seguint aquesta línia. Però si introduïm una tercera dimensió, podem deformar el full. El grapem pels seus extrems de manera que formi un cilindre. Per un cos de tres dimensions, el camí més ràpid ja no seria caminar per sobre el full en línia recta, sinó simplement saltar d'un extrem a l'altre, ja que en l'espai tridimensional es troben molt aprop. Tanmateix, el cos puntual haurà de seguir movent-se per la línia recta, doncs no té la capacitat d'accedir a la tercera dimensió.

Aquesta situació és equivalent a la nostra. Nosaltres som cossos tridimensionals i per tant no tenim la possibilitat d'accedir a la quarta dimensió, i el nostre propi transport

¹⁴ Per exemple, el comportament de la llum només es pot descriure per la interacció entre dos camps -elèctric i magnètic- que formen un angle de 90 graus situat en un espai tridimensional. Així com les propietats lumíniques no es poden explicar amb menys de tres dimensions, seria possible que introduint una nova dimensió poguéssim entendre fenòmens físics que ara queden fora del nostre abast.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

sempre serà a través d'aquest espai de tres dimensions. Tanmateix, seria possible que utilitzéssim les dreces de la quarta (o cinquena, sisena, setena, etc.) dimensió per a transmetre informació.

El problema és com accedir a aquesta quarta dimensió. Tenint en compte que els efectes físics de l'espai tridimensional també afecten a dimensions més altes, caldria desenvolupar una tecnologia capaç de detectar i interpretar els canvis en aquestes dimensions superiors. Seria la creació d'un llenguatge: investigant els diferents efectes de les forces, podríem establir un sistema d'emissió i recepció. Alguns fenòmens determinats podrien provocar una deformació extrema d'aquesta quarta dimensió, i per tant, als nostres ulls la informació es transmetria a una velocitat molt superior a la de la llum. En l'exemple del full blanc, a l'observador puntual li semblaria com si l'objecte tridimensional, viatgés a una velocitat superior a la de llum. De fet, el cos tridimensional se li apareixeria com una taca de dos dimensions. Una imatge explicativa és imaginar l'ombra bidimensional que projecta un tap de bolígraf sobre un paper. Un punt sobre aquest paper no pot apreciar el cos del tap del bolígraf, però sí la seva ombra. Quan es doblegués el paper i el tap de bolígraf saltés, per a l'observador puntual semblaria com si l'ombra s'hagués mogut quasi instantàniament d'un extrem a l'altra del paper, tot i que en l'espai de tres dimensions la velocitat del bolígraf no s'ha ni apropat a la de la llum.

Si ara considerem que en el full hi viu una civilització puntual molt avançada, seria possible que arribessin a aconseguir fer moure el tap de bolígraf. Els punts mai podrien utilitzar el tap de bolígraf com a mètode de transport, però mitjançant la seva ombra serien capaços d'establir un sistema de comunicació. Així doncs, en el seu sistema bidimensional haurien aconseguit transmetre informació més ràpid que la llum.

L'explotació del subespai ens obre les portes, doncs, a l'univers de la informació. Les dues aplicacions principals serien les següents:

- En primer lloc, la transmissió d'informació entre naus. L'ús del subespai justifica les altes velocitats que apareixen a *Star Trek*, en el qual els missatges s'envien i es reben gairebé instantàniament. Fins i tot utilitzant la llum com a missatger es necessitaria un cert temps d'espera, i l'entrellaçament no sembla capaç d'aportar cap solució en aquest sentit. En canvi, utilitzar dimensions superiors seria un sistema viable i que encaixaria força bé amb les condicions exposades a la sèrie.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

- En segon lloc, una quarta dimensió seria una font d'informació *ella mateixa*. Tenint en compte que els fenòmens físics que tenen lloc en l'espai tridimensional també poden afectar la quarta dimensió, aquesta pot servir per revelar-nos l'existència de singularitat invisibles als nostres ulls. Per exemple, gràcies a certes reaccions del subespai, la tripulació de l'*Enterprise* pot detectar forats de cuc en desintegració, com passa en el capítol “El hoyo negro”. La cita següent recolza aquesta afirmació: “*Janeway*: El oficial Kim ha anunciado hoy un excitante descubrimiento: una distorsión subespacial que podría ser un agujero de gusano. [...]” . També podrien ser capaços de descobrir tensions excessives en altres dimensions, anomalies en l'espai tridimensional que provoquen interferències en els raigs emesos, etc. En aquest cas seria necessari comptar amb un llenguatge, en el que a partir de certes reaccions del subespai fóssim capaços de conèixer el fenomen físic que hi ha darrere.

S'haurà fet notori que, quan es referim a dimensions més altes, generalment només anomenen una *quarta* dimensió. Això és degut a que en teoria, les altres set dimensions espacials són més petites i es troben enormement condensades. Si existeix la possibilitat de que hi hagin dimensions més altes, és molt improbable que n'hi hagi més d'una. Així doncs, si la *quarta* dimensió ja és un projecte optimista; la *cinquena* seria forassenyat.

Pel que fa les dimensions inferiors, sembla ser una proposta inviable i absurda. En ser més petites i estar enormement condensades, a més a més de la dificultat per detectar-les, ens enfrontem a un greu problema de manipulació. Com podria ser possible transmetre cap informació a través d'aquestes dimensions?

L'única resposta viable, tot i que improbable, en l'ofereix el físic Alexander Vilenkin de la Universitat de Tufts: “Una possibilitat molt excitant és que les supercordes [...] poguessin tenir dimensions astronòmiques [...]. Llavors podríem observar-les en el cel i posar a prova directament la teoria de supercordes.” Aquesta teoria es basa en la possibilitat de que algunes de les dimensions més baixes i hipercondensades, s'amplifiqués durant el Big Bang fins a formar una supercorda de nivell astronòmic. Si és que llavors fos possible utilitzar-la com a sistema de transmissió d'informació, el problema seria que únicament seria rentable en certs indrets determinats, és a dir, per on passés la supercorda. El cert és que malgrat que aquesta *autopista espacial d'informació* és una proposta interessant, no sembla adaptar-se a les propietats del subespai que mostra *StarTrek*.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

En conclusió, sembla ser que una dimensió superior seria la resposta al concepte de subespai que planteja *Star Trek*. En aquestes condicions, el nom més adequat seria hiperespai, tal com es coneix en la ciència ficció normal, doncs tot i que ens ofereix una visió renovada de la ciència ficció introduint-hi un toc d'originalitat, la partícula *sub-*transmet una idea de que es tracta d'una dimensió inferior que no s'adapta a la realitat.

Contacte entre dimensions.

En l'apartat anterior ja hem descrit com seria possible, aproximadament, el contacte amb una dimensió superior. A continuació, estudiem un exemple concret de contacte entre dimensions tal i com es mostra a la sèrie.

En el capítol “La fuerza de la naturaleza”, de la setena temporada de *The next Generation*, l'*Enterprise* es troba amb una estranya mina que inutilitza per complet la nau, desactivant reactors, sensors i comunicadors. Mentre estan fent les reparacions pertinents, arriba una petita nau alienígena. Els dos germans que hi viatgen són els responsables de la mina. Amb aquesta actuació terrorista intenten alertar a la Federació que els camps factorials aplicats contínuament en aquell territori estan danyant profundament el subespai, i això podria portar a una situació perillosa. Però els procediments per a demostrar aquesta hipòtesi són feixucs, i en un moment de desesperació en el que creu que la seva demanda serà altra cop ignorada, la germana decideix crear un fort camp factorial que acaba desencadenant una esquerda en el subespai.

En aquest capítol es barregen diverses qüestions interessants. En primer lloc, aquesta idea de que “tensions en les tres dimensions poden tenir efectes en d'altres sistemes” és aplicable tan a altres dimensions com a altres universos. Com hem vist, diferents cosmos del *multivers* es poden comunicar entre sí mitjançant la gravetat. El que és curiós, i aquesta és la segona qüestió important, és que aquesta situació encaixa perfectament amb la representada en aquest capítol. Tenint en compte que la propulsió Alcubierre origina una deformació de l'espai; les distorsions del teixit del nostre univers podrien afectar a la malla espai-temps d'un univers paral·lel, augmentant enormement la tensió en un indret determinat. Cal destacar, però, que la força de gravetat no seria

Física vint-i-quatre vegades per segon.

suficient per provocar una esquerda en el teixit temporal, excepte si aquest ja estava prèviament danyat. Per fracturar l'espai-temps, necessitem, altra vegada, l'energia de Planck.

La situació mostrada per *La fuerza de la naturaleza* és de contacte entre universos més que no pas dimensions diferents. Una potent força gravitatòria podria tenir efectes en una quarta dimensió, però mai podria arribar a trencar-la. Sinó, en els forats negres s'estriparien les quatre dimensions espacials. Per tant, el capítol presenta un error: la fractura que s'origina no afecta al subespai sinó a un univers diferent.

Malgrat aquest error, el capítol també té encerts. És bonic apreciar com una teoria de transport com la propulsió Alcubierre encaixa a l'hora d'explicar l'esfondrament del mur entre els dos universos; i com realment és possible que, en una zona prèviament perjudicada, pugui acabar provocant una fractura en l'espai-temps. A poc a poc, les teories físiques que expliquen l'univers d'*Star Trek* s'entreteixeixen soles davant dels nostres ulls.

4.4. Rareses i peculiaritats.

Un dels aspectes més interessants de l'univers d'*Star Trek* són les seves rareses espacio-temporals: fenòmens desconeguts o que el món de la física encara no ha classificat com a possibles, i que apareixen a la sèrie envoltades d'un confirmat rigor científic -per part de la pròpia tripulació, és clar- i pintades amb un vernís d'espectacularitat.

Mentre s'investiga si aquestes singularitats són possibles, si hi ha alguna teoria científica que porti una resposta adaptable, o bé es pot buscar alguna explicació combinant diferents hipòtesis existents; és inevitable que sorgeixi la temptació de resignar-se i acceptar que es tracta d'un univers totalment diferent. Sí, amb humans d'aparença semblant a la nostra, un planeta gairebé idèntic i una història de la humanitat pràcticament clonada; però amb unes altres lleis físiques.

La mateixa sèrie sembla caure a vegades en la seva pròpia trampa i abandona la intenció de complir les nostres lleis físiques. Per exemple, en el capítol "Los 37s", la capitana Janeway pregunta a l'oficial Harry Kim per què no rebien el senyal de radio d'un vehicle que estava vagant per l'espai. Kim respon el següent, en la versió original:

Física vint-i-quatre vegades per segon.

- *AM signals are not within this spectrum because they only travel at the speed of light, too slow for interstellar communications.* (Traduït: *Els senyals de ràdio no entren en aquest espectre [referint-se al ventall de radiacions que rep i processa el monitor de la nau] perquè només viatgen a la velocitat de la llum, massa lenta per les comunicacions interestel·lars.*)

En la versió doblada van tenir la sensatesa d'evitar el “només viatgen a la velocitat de la llum”, i només deien que eren massa lentes; de manera que el contingut quedava camuflat. És realment curiós que els productors de la sèrie s'arrisquin d'aquesta manera en oposar-se a una teoria científica coneguda per tots: la teoria de la relativitat. Aquesta prohibeix velocitats superiors a la de la llum, de manera que si de veritat fos cert el que diu Harry Kim, estaríem parlant d'universos totalment diferents.

Una explicació possible al conflicte que presenta aquest capítol és que en utilitzar el subespai -la quarta dimensió- per transmetre els missatges, es parli de velocitats relatives i per tant, extraordinàriament elevades. Només cal recordar l'exemple del full: quan aquest estigués doblegat i el tap de bolígraf creués un breu espai tridimensional, per un cos puntual semblaria que s'ha mogut a una velocitat molt superior a la de la llum. La velocitat real a la que es mouria el missatge no seria supralumínica, però per un observador bidimensional faria l'efecte que sí. D'aquesta manera a un humà li semblaria que els missatges que es mouen per el subespai viatgen a una velocitat molt superior a la de la llum.

Tanmateix, és força improbable que el subespai sigui l'únic sistema de comunicació. Enviar informació mitjançant radiacions electromagnètiques seguiria sent un mètode eficaç, i en aquest cas el monitor de la nau hauria de rebre tots els missatges, inclòs el de ràdio.

Però la veritat és que si arribem a la conclusió de que el nostre univers és totalment diferent al d'*Star Trek*, llavors l'essència d'aquest treball desapareix. L'objectiu és intentar trobar o crear explicacions científiques que justifiquin els fenòmens físics que hi apareixen, per a que després puguin ser utilitzades com una eina de reflexió i ens adonem que l'univers d'*Star Trek* no està tan lluny del nostre. Cal dir, a més a més, que els resultats obtinguts són sorprenentment encoratjadors: malgrat sorgeixen errors i no sempre és possible cobrir totes les propietats, és possible justificar científicament gairebé tots els fenòmens físics de la sèrie.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Els cossos estranys que es va trobant la tripulació són una mina d'or en aquest context. Les seves propietats es poden contrastar directament mitjançant teories que expliquin les característiques del nostre univers, i així comprovar si són possibles o no. Seguidament estudiem tres casos peculiars i justifiquem la seva possible existència.

Forats negres.

En el capítol “Parallax”, de la primera temporada de *Voyager*, l'*Enterprise* està viatjant quan rep un senyal de socors i descobreix una nau propera que s'ha quedat empresonada en un forat negre. L'intenten desencallar utilitzant el raig tractor, però no ho aconsegueixen, i finalment decideixen sortir-ne i anar a buscar ajuda. Tanmateix, després de molts intents fallits, descobreixen que ells també han sigut capturats per la singularitat. S'adonen de que la nau que hi ha atrapada és un reflex d'ells mateixos, i la senyal que havien rebut és la mateixa que ara estan enviant. Llavors, buscant la manera de fugir, troben unes petites esquerdes en l'horitzó de successos. Utilitzant un raig *dekyon* n'augmenten la mida i finalment aconsegueixen escapar.

Hi ha diversos aspectes que cal matisar. En primer lloc, la teoria de “l'efecte abans de la causa” és una hipòtesi que s'ha proposat varies vegades però mai no s'ha aconseguit comprovar. El cert és que en física quàntica els conceptes “causa” i “efecte” tenen un valor relatiu, i a vegades és difícil determinar quin va davant de l'altre. És possible, doncs, que per a un observador exterior semblés que l'efecte té lloc abans que la causa. Tanmateix, seria necessària una teoria del tot per a determinar exactament què li passaria a un cos en caure a l'horitzó de successos.

El que és rotundament cert és que caure a l'horitzó de successos d'un forat negre seria extremadament perillós, de fet, mortal. Seguidament exposem alguns dels efectes que hauria de patir l'*Enterprise* i la seva tripulació quan s'endinsessin en aquesta singularitat:

- **Forces de marea.** La capitana Janeway, després de descobrir que ells també es troben atrapats dintre del forat negre, especula que han de sortir en un màxim de nou hores, ja que sinó seran aixafats. Però aquesta afirmació està basada en una creença errònia en la que es suposa que entrar en un forat negre seria com submergir-se en una

Física vint-i-quatre vegades per segon.

piscina de plom líquid. Passa molt sovint que traduïm el concepte d'una força gravitatòria extremadament potent com una pressió molt elevada. Així doncs la frase de la Janeway ens fa pensar que la gravetat actua “comprimint” l'*Enterprise*. Però la veritat és totalment contrària: tots els cossos serien estirats, “espaguetificats”, fins a que els seus àtoms serien estripats per la increïble força gravitatòria.

Aquest fenomen, que es coneix com “forces de marea” es pot explicar si observem l'equació de gravitació universal: (Sent G la constant de gravitació universal.)

$$\text{Força} = G \cdot \left(\frac{\text{Massa}_1 \cdot \text{Massa}_2}{\text{Distància}^2} \right)$$

Com veiem, la força de gravetat està en funció de la massa dels cossos i la distància que els separa. La massa d'un forat negre és fabulosament gran, de manera que la força gravitatòria que produeix és extraordinària. Però cal tenir en compte que la distància es troba en el denominador de la fracció. En aquestes condicions, una petita variació en la distància pot afectar a la gravetat d'una manera observable. A la Terra, aquesta diferència en funció de la distància gairebé no es pot apreciar, ja que la força de la gravetat del nostre planeta és molt menor a la d'un forat negre. Però en una singularitat d'aquest tipus, la diferència de distància es pot arribar a fer notòria, de manera que ens sentiríem més atrets pels peus que pel cap. Això provocaria que els nostres cossos s'estiressin, les nostres cèl·lules es deformessin i finalment acabessin estripant-se, provocant la nostra mort.

A més a més, altres efectes anteriors a aquest horrorós final, serien l'augment del pes, l'estancament local de la sang i la falta d'oxigen. Per a entendre la primera cal recordar que el pes no és mesura absoluta (com sí que ho és la massa) sinó que és una acceleració i per tant depèn de la força que s'hi apliqui. En un sistema amb una força gravitatòria elevada, el nostre pes augmentaria fabulosament; fins al punt que perfectament podríem arribar a pesar una “tona terrestre”(les unitats de massa s'utilitzen erròniament per fer referència al pes. Fem extensiu momentàniament l'error en aquest punt, per a que es pugui entendre en unitats habituals). En aquest estat de superpes seria impossible moure'ns, ja que ens mancaria la força muscular suficient per contrarestar l'acceleració.

L'estancament de sang seria degut a que es veurien atrets amb més força el peu que el cap, i per tant la sang no tindria prou força per tornar a pujar, i superar l'acceleració del

Física vint-i-quatre vegades per segon.

forat negre. Finalment, el fet que la sang no circularia lligat a que no podríem respirar (ja que la tràquea i la caixa toràcica es contraurien evitant l'entrada d'aire) acabaria privant les nostres cèl·lules d'oxigen. Aquest conjunt de símptomes serien tan capaços de matar algú com el trencament de les cèl·lules.

Tanmateix, cap d'aquestes atrocitats té lloc al capítol d'*Star Trek*. Com és possible? Una de les respostes és que la nau compti amb un sistema compensador que els permetés suportar fortes acceleracions sense deformar-se. Tanmateix, aquest sistema de protecció no és necessari en condicions normals ja que la propulsió Alcubierre no sotmet la nau a acceleracions reals, sinó que deforma l'espai-temps per a superar la barrera de la llum. Però és possible que s'equipés a les nau amb un sistema de protecció per a fortes acceleracions, o simplement es pogués manipular el camp artificial de la nau per crear una força gravitatòria contrària a la del forat negre.

Aquesta última opció queda descartada ja que incrementaria encara més l'efecte marea, ja que llavors els àtoms es veurien estirats per dues forces contràries i es trencarien encara més ràpidament. Però existeix un mètode de protecció a les grans acceleracions que podria ser útil.

Es tracta dels vestits anti-G, ideats per contrarestar les grans acceleracions produïdes en un avió, però que també podrien servir per a una nau espacial. Existeixen dues modalitats d'aquest equipament. La més antiga es presenta en un format, generalment, de pantaló. Consisteix en cinc càmeres de gas interconnectades entre elles, i unides al mateix temps a una vàlvula, mitjançant un tub. Aquesta vàlvula seria capaç de detectar els increments d'acceleració, i subministrar llavors gas al sistema (que podria canviar la seva densitat depenent de la magnitud de l'acceleració), que compensaria amb la seva pressió l'acceleració que patiria la persona.

La versió més nova es tracta d'una malla enganxada al cos, coberta per una xarxa de tubs flexibles i plens d'un líquid menys dens que la sang. Aquests tubs s'estendrien sobre el pit, l'esquena i les extremitats; i tot el conjunt estaria cobert per un vestit de bus. Quan es produís una acceleració, el líquid es desplaçaria cap a les extremitats; subministrant una pressió que evitaria que la sang fes el mateix.

Aquest últim sistema perfeccionat podria encaixar en el món *Star Trek*. Tot i que protegiria humans, no serviria per a la resta d'objectes de la nau a no ser que s'apliqués un camp col·lectiu d'aquest sistema, una versió ampliada aplicada a tota la nau.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

L'energia necessària per mantenir aquest procés seria immensa, ja que caldria una força desmesurada per a que el líquid pogués vèncer l'atracció del forat negre.

En conclusió, l'explicació global pot ser la següent: la tripulació hauria d'estar equipada amb els equips anti-G per a evitar morir instantàniament. La despesa d'energia necessària per a mantenir la nau sense deformar seria tan elevada, que fins i tot amb un reactor d'antimatèria es quedarien sense combustible a les poques hores.¹⁵ Així doncs, el termini que dona Janeway de “nou hores”, rectificat com una “espiguitificació” i no una compressió, podria ser el temps capaç de resistir la nau l'enorme acceleració del forat negre. Tanmateix, en relació amb el que acabem de tractar caldria destacar els errors següents: la tripulació s'hauria d'equipar amb els ja anomenats vestits anti-G, abans de que se'ls possessin pesarien moltíssim i estarien en greu perill de mort, i la nau patiria un efecte “d'estirament” que no apareix. Tot això, intent buscar una solució que permetés fer viable la situació plantejada a *Star Trek*; ja que la resposta més immediata és una mort segura i ràpida.

- **Radiació.** Els efectes de la radiació d'un forat negre són extremadament perillosos. La causa és que tota la radiació electromagnètica que entrés en un forat negre giraria infinitament, durant anys i anys, fins a assolir uns nivells d'energia inimaginables. Això és degut a que, en augmentar a freqüència de la radiació també incrementaria la seva energia; sent les radiacions més energètiques aquelles que tenen una freqüència més alta. Així doncs, per exemple, la llum que es quedés atrapada en un forat negre giraria indefinidament al voltant d'aquest, desplaçant-se cap al blau i adquirint una energia elevadíssima. Un raig d'aquest tipus podria ser capaç de matar qualsevol persona, i causaria greus perjudicis a la nau -si no la destruís a l'instant-.

Tanmateix, l'*Enterprise* compta amb la protecció adequada per evitar aquests raigs blavosament mortals. Com ja comentàvem en l'apartat de forats de cuc, és possible que els escuts de la nau estiguin equipats amb una variant de la fotocromàtica actual, capaç de vaporitzar raigs làsers i per tant radiacions semblants d'elevada energia. Aquest

¹⁵ Recordem que la nau compta amb un petit “col·lisionador portàtil” capaç de crear antimatèria utilitzant energia del reactor i per tant, establir un sistema autosuficient. Però en un cas en el que es gasta molta energia i es té poc temps, aquesta font d'energia podria no ser suficientment ràpida com per cobrir la manca de combustible instantàniament, de manera que el sistema anti-G global funcionaria intermitentment.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

mètode de defensa per a la radiació dels forats de cuc podria ser igualment útil per a un forat negre.

Finalment, cal matisar que la imatge que oferiria el forat negre és força diferent a la que mostra la sèrie. Apareix en un to violeta, un intent de caracterització semblant als planetes que es basa en la suposició errònia que són cossos d'una mateixa naturalesa. Com es sabut, ni tan sols la radiació electromagnètica és capaç d'escapar de l'enorme força gravitatòria d'un forat negre. Per això, quan hi entréssim trobaríem la llum que ha estat donant voltes al seu voltant des del seu origen. Aquesta llum portaria tota la informació de la seva vida, i, si fóssim capaços de sobreviure a les seves terribles condicions, podríem gaudir d'una pel·lícula inèdita i espectacular, una història deliciosament impossible de conèixer per a ningú que no estigués destinat a la mort (excepte l'*Enterprise*, que és capaç d'escapar-ne miraculosament, és clar): la vida d'un forat negre. Gràcies a la llum atrapada en la singularitat, podríem presenciar una crònica en color d'uns dels fenòmens més desconeguts de l'univers. Cinema mut, però grans produccions com *Avatar* quedarien en ridícul al costat d'aquesta meravella.

Finalment, cal dir que el mètode que utilitzen per escapar té una base científica dubtosa. En principi, tota la comunitat física accepta que és impossible escapar d'un forat negre. Per fer-ho, s'hauria de viatjar a una velocitat superior a la de la llum, la qual cosa no pot ser. L'horitzó de successos no pot tenir “fractures”. No és una frontera espacial real, no és, diguem-ho de la manera col·loquial, “material”. Simplement és una línia que ens indica el marge d'actuació d'una força gravitatòria, de fet, el punt en l'espai a partir del qual no té sentit lluitar en contra d'aquesta força, ja que ens atraurà de manera indefinida en un viatge sense retorn.

L'única possibilitat viable, que no és la que apareix a la sèrie, seria intentar crear “l'ull” del forat negre per entrar en un univers paral·lel. Des d'aquest, es podria intentar tornar a l'univers original utilitzant un forat de cuc inter-univers. Val a dir que les perillositats d'aquest viatge són enormes, i a més a més no està clar que sigui possible travessar el forat negre si s'ha caigut a dins l'horitzó de successos. A més a més, un cop haguessin travessat el forat negre, haurien de trobar un forat de cuc de tornada, amb la possibilitat d'aparèixer en un univers mort fet de gasos on podrien quedar desterrats per sempre més. Tot i que, segons com es miri, fins i tot aquesta possibilitat pot ser millor a morir.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

En conclusió, el tractament que es fa del forat negre és força imprecís i presenta bastants errors. Tot i que argumentalment és interessant i la situació està carregada de tensió, la veritat és que escapar d'un forat negre és una opció impossible, com a mínim, amb el mètodes que plantegen. I el cert és que no hi ha excuses que justifiquin aquesta manca de rigor científic. El guió es va acabar d'escriure el Setembre de 1994, i l'any 1967 Hawking i Penrose ja havien demostrat que en determinades situacions era possible que una estrella col·lapsés formant un forat negre. Això significa que fàcilment es podia tenir una lleugera noció sobre les propietats d'un forat negre. I el cert és que l'efecte marea, per exemple, només necessita les lleis de Newton per a ser predit.

Però com explica el propi guionista, Brannon Braga, a vegades la ciència és l'últim que es té en compte:

"Normally, the way we write stories is we come up with what we want to do dramatically [...] We add science later. And it works out much better that way. Though *a quantum singularity* is a mouthful, I decided to use it anyway; but I literally could have called it a *quantum fissure*, a *quantum sinkhole*, anything. And who cares? Who really cares?" (Vol. 27, No. 4/5, page 34)

Traduït al castellà: "Generalmente, nuestra forma de escribir historias es basándonos en lo que queremos hacer en términos de drama [...]. La ciencia viene después. Y la verdad es que funciona mucho mejor así. Aunque *singularidad cuántica* es un pedazo de palabra, yo decidí utilizarla de todos modos; pero lo podría haber llamado perfectamente *fisura cuántica* o *desagüe cuántico*, cualquier nombre vale. Y es que, a quién le importa? A quién le importa de veras?"

En aquest context, el comentari del guionista resulta una mica frustrant. El públic general no acostuma a estar interessat en la ciència, però mantenir un cert rigor científic pot ser beneficiós. En primer lloc, coneixent el funcionament real de certes singularitats podem descobrir agradables detalls, que ens permetrien crear situacions espectaculars i encara més excitants. I en segon lloc, seguir un criteri científic crea un cert prestigi que, lluny d'espantar el públic, l'emociona i l'atreu. En canvi, continuades errades acaben donant a la sèrie fama de "poc seriosa", i ofereixen una imatge pobre i baixa qualitat. Així doncs, un petit esforç científic podria arribar a ser lucratiu.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Però considerant l'opinió del guionista sobre la importància de la ciència en la sèrie, serà millor que no comencem amb exigències. En tot cas, hauríem d'agrair que no hagin anomenat un forat negre com “desguàs quàntic”. I és que, a qui li importa?

Cisalla de gravetat.

La següent peculiaritat apareix en el capítol “Gravedad”, de la cinquena temporada de *Voyager*. En aquest episodi els oficials Paris i Tuvok s'estavellen contra un planeta on la gravetat és extremadament elevada. En un primer moment no s'adonen de que hi estan atrapats, però quan comencen a enviar missatges demanant ajuda i cap aconsegueix arribar a l'emissor, descobreixen que el planeta els atrau amb una força inusualment elevada. A l'espai exterior, la resta de la tripulació de l'*Enterprise* no tarda en adonar-se de les dificultats en que es troben immersos els seus companys. El planeta on han caigut es troba situat dintre d'una “cisalla gravimètrica” una mena de fractura espacio-temporal en la que la gravetat és extremadament elevada. Degut als enormes problemes i la gran quantitat de naus que s'han perdut en aquesta singularitat, una civilització alienígena es disposa a tancar-la. L'*Enterprise* s'ha d'enfrontar llavors, no només a l'enorme gravetat del planeta que els empresona, sinó també al temps límit marcat per els governadors alienígenes.

Mentrestant, Paris i Tuvok estan explorant la seva nova llar, quan són atacats per una alienígena que finalment acaba convertint-se en la seva companya. Llavors es traslladen a la seva nau, més còmoda que la dels oficials, i on es poden defensar millor d'uns estranys humanoides que els ataquen constantment. Quan ja s'han començat a resignar al seu destí, que creuen que serà quedar-se desterrats per sempre més en el planeta, reben un missatge de l'*Enterprise* que els informa de que els rescataran, i gràcies al qual descobreixen que existeix un diferencial temporal amb l'exterior, i el temps passa més ràpidament dintre del planeta. Després de varis intents fallits amb raigs subespacials i teleportació, l'*Enterprise* els aconsegueix rescatar utilitzant el raig tractor.

Existeixen varis aspectes a tractar en aquest capítol. Sens dubte, el concepte de *cisalla de gravetat* és un element interessant i atractiu des del punt de vista del públic. Però, i des dels ulls d'un científic, compleix les lleis de la física?

Sí, però no.

Primer cal començar pel nom. Encara que és una construcció enginyosa, el cert és que *cisalla gravimètrica* està mancat realment de sentit físic. Una cisalla és una eina semblant a unes estisores, però més potent, de manera que podríem intuir que la singularitat consisteix en una força tan violenta que es capaç d'estripar els cossos -com passa en els forats negres-. L'adjectiu gravimètric fa referència, òbviament, a la força gravitatòria; però utilitzen el sufix *-mètric* per aportar sonoritat. En realitat, aquest afix denota “mesura”, doncs la gravimetria és la ciència que estudia la mesura de la gravetat. Encara que en aquest context utilitzar la paraula gravimètric no té cap sentit especial, com veurem més endavant incloure paraules que sonin *extremadament científiques* és una característica pròpia d'*Star Trek*.

Així doncs, podem suposar que les cisalles gravimètriques són zones on, a causa d'un diferencial extremadament gran entre els coeficients gravitatoris, la matèria es troba sotmesa a molta tensió. Però en aquest capítol els efectes de la gravetat van encara més enllà: són tan forts que empresonen la tripulació en el planeta. Per això també anomenen la singularitat com *subspace sinkhole* (o *pou subespacial*), posant especial èmfasi en remarcar que és molt difícil sortir-ne. Aquest pou actuaria com un forat negre invisible, creant un camp gravitatori fabulosament potent al seu voltant, que *xuclaria* inevitablement tots els cossos que s'apropessin suficient.

Si llavors ens preguntem sobre la viabilitat d'una cisalla gravimètrica, una part de la resposta és *sí*. La teoria de la relativitat permet l'existència de singularitats físiques com aquesta. Els forats negres en són l'exemple més conegut, on tenen lloc realitats tan fantàstiques com possibles. Però a diferència d'aquests, la *cisalla gravimètrica* o el *pou subespacial* es basen en la idea que l'espai té una forma i unes propietats independents de les masses que hi intervenen. Així doncs, un pou subespacial és com un accident del relleu, que tot i afectar els cossos propers, no n'és un efecte.

Aquest tractament de l'espai s'oposa totalment a la relativitat d'Einstein, en que la deformació de l'espai és una conseqüència de la gravetat, i la gravetat està lligada a la naturalesa dels cossos. Això ens obliga a incloure el *no*, doncs *Star Trek* representa un espai en que les singularitats són invariables i existeixen sense cap causa aparent.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

D'alguna manera, exporta el comportament de l'espai que nosaltres coneixem -el terrestre- a l'exterior. Els accidents geogràfics com penya-segats o pous es converteixen en singularitats espacials, i pretenen que actuïn de manera semblant. Però mentre en la Terra només es necessita una força inicial i després la geografia manté la seva fisonomia invariable -com a mínim fins que s'exerceix una altra força-; a l'univers, si deixa d'actuar una força, l'espai perd la seva deformació.

En conclusió, una cisalla gravimètrica és possible, però es necessita un cos que la produeixi. Per tant, la situació que presenta *Star Trek* seria viable amb les següents condicions:

- En primer lloc, la cisalla gravimètrica hauria d'ésser produïda per alguns tipus de **singularitat hiper-màssica**, com un forat negre o una estrella de protons. Aquesta existiria en les quatre dimensions espacials -les tres que coneixem i una quarta hipotètica-, però en principi, i si parlem de força gravitatòria, no podria existir només en una quarta dimensió, és a dir, no podria ser únicament *subespacial*. Així doncs, la cisalla gravimètrica podria ser una regió de l'espai fortament deformada degut a la presència d'un cos hiper-màssic, i que conseqüentment, atrauria els objectes propers amb una força desorbitada.

- Malgrat l'explicació anterior justifica la deformació de l'espai, no respon al fet que una nau es quedi atrapada en el planeta, tot i que aquest es trobi dins la deformació. És a dir, el planeta i la nau tindrien molts problemes per sortir de la deformació, però no existeix cap raó per la qual la nau es quedés atrapada en el planeta, ja que no seria aquest el que exerceix la força gravitatòria.

Una solució a aquest problema seria que el planeta girés amb una **velocitat de rotació extremadament alta**. Intentar incrementar la força gravitatòria entre el planeta i la nau és impossible, ja que aquesta sempre es troba lligada a la massa dels cossos i per tant no es pot manipular. Però podríem sumar-li una segona acceleració provocada per un altre tipus de força, que originaria una acceleració total suficientment gran per a mantenir atrapada la tripulació en el planeta. La velocitat de rotació podria aportar la resposta a aquesta qüestió.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Observem la fórmula següent:

$$\overline{\text{Acceleració}_{normal}} = \frac{\text{Velocitat lineal}^2}{\text{Radi}}$$

L'acceleració normal és un dels **components intrínsecs de l'acceleració** (Veure glossari) que actua sempre perpendicularment a la superfície -és a dir, cap al centre-; i la velocitat lineal és la velocitat a la que es mouria un punt del planeta sobre una esfera imaginària, en relació a un punt central que es trobés en repòs. La velocitat lineal equival, al mateix temps, a la velocitat de rotació, de manera que podem observar que com més ràpid gira el planeta sobre si mateix, més es sentiria atret un habitant de la seva superfície.

Cal dir que la velocitat de rotació d'un cos es conserva, degut a la conservació del moment angular. L'origen d'aquesta elevada velocitat es remuntaria, doncs, a la formació de la cisalla gravimètrica, en la que el planeta hauria arribat girant sobre si mateix ràpidament, i s'hauria mantingut amb aquest moviment de rotació fins aleshores.

Així doncs, és possible sumar l'acceleració gravitatòria a la produïda per la velocitat de rotació, i obtenir un valor suficientment elevat com per impedir a una nau enlairar-se del planeta.

Tanmateix, la naturalesa de la singularitat no és l'únic tema controvertit del capítol. L'episodi també presenta errors sobre els efectes que provocaria una cisalla gravimètrica sobre la tripulació de l'*Enterprise*. Principalment podem destacar les errades següents:

- No pateixen **efecte marea**. De la mateixa manera que en un forat negre, davant la presència d'una força tan intensa una persona experimentaria una acceleració diferent en cada punt del seu cos. Així doncs, els oficials Tuvok i Paris s'haurien de sentir més atrets pels peus que pel cap, una anomalia que provocaria un gran nombre de conseqüències greus. Els detalls d'aquest efecte ja han sigut explicats anteriorment, i es poden consultar en el subapartat anterior.
- La **dilatació temporal** és inversa. El temps passaria més a poc a poc dintre de la singularitat que a fora. En el capítol, la diferència temporal que pateixen és la següent:

Física vint-i-quatre vegades per segon.

0,4744 segons a la nau equivalen a 1 minut al planeta. Tanmateix, la teoria de la relativitat indica que el temps passa més lent com més ràpid es mou el mòbil. Per tant, en una zona on l'acceleració és molt forta, el temps hauria de passar més a poc a poc. Conseqüentment, el diferencial temporal hauria de ser invers. En aquest cas, l'error no respon a una confiança excessiva en la intuïció, sinó que probablement té a veure amb l'argument: és molt més emocionant que el temps passi lentament per als presoners. Una llicència narrativa en aquest cas podria arribar a ser perdonable.

- La **freqüència augmenta** en un camp on la força gravitatòria és molt elevada. Aquest punt és una mica confús, ja que els efectes per a un observador extern i un intern són diferents. La radiació que arribaria a una nau que estigués a fora del camp gravitatori elevat s'hauria corregut cap al vermell. Així doncs la llum visible hauria anat disminuint de freqüència fins a convertir-se en ones de ràdio, degut a l'efecte Doppler. En canvi, una persona que estigués dintre del camp de força observaria com la llum atrapada en la singularitat augmentaria de freqüència, i conseqüentment, d'energia. La velocitat de la llum és invariable i per tant no podria accelerar-se, però a causa del seu moviment constant les partícules guanyarien energia cinètica, que es transformaria en un increment de la radiació. Així doncs el missatge que reben de l'*Enterprise* no s'hauria d'haver alentit, sinó accelerat. Al mateix temps, si haguessin aconseguit enviar un missatge a l'*Enterprise* des de la cisalla, aquest hauria d'haver arribat amb una freqüència inferior.

Com és habitual, no totes les apostes d'aquest capítol han sortit malament. Apart d'aquests errors, trobem un encert que fora bo destacar:

Utilitzen el raig tractor per a alliberar la nau. Cal fer referència al detall que no són capaços de treure la nau del planeta mitjançant la teleportació quàntica, que és una confirmació que la teleportació es realitza tal i com expliquem en aquest treball. Així doncs, l'alta gravetat podria afectar a la freqüència de la radiació i per tant, modificar el missatge, suposant un greu perill per aquells que haguessin de ser teleportats. Al mateix temps, l'actuació del raig tractor en aquest capítol ens confirma que la seva naturalesa rau en la força electromagnètica. Tenint en compte que la gravetat és la més feble de els quatre forces fonamentals, seria possible és utilitzar la força electromagnètica per

Física vint-i-quatre vegades per segon.

superar l'elevada atracció gravitatòria del planeta. Així doncs, posant en marxa els dos electroimants de les naus seria possible superar l'elevada força de gravetat que els manté empresonats en el planeta. A l'hora de ser transportats, es situen al costat d'una bola de metall, que podria ser perfectament un electroimant capaç d'imantar els seus cossos, en un origen elèctricament neutres. Tot i que llavors són reconstituïts immediatament dintre de la nau, com en un procés fictici de teleportació, si utilitzessin el raig tractor el procés seria molt més lent. Haurien de situar-se en l'espai obert equipats amb vestits d'astronautes, i seguidament ser accelerats elèctricament fins a superar la força de gravetat i començar a moure's en direcció l'*Enterprise*; o bé s'hauria d'imantar i accelerar tota la nau. Segurament el segon procés és més segur, tot i que també seria més complicat de com ho mostren a la sèrie.

En conclusió, una cisalla gravimètrica seria possible però amb varies modificacions bàsiques. Una regió subespacial com la que proposen seria impossible -excepte si en comptes d'una quarta dimensió, es tractés d'un altre univers- i cal destacar que s'eludeixen alguns efectes gravitatoris importants. També és veritat, però, que malgrat tots els errors aquest capítol crea una situació física ben treballada i, malgrat la càrrega científica, molt dinàmica i interessant.

L'espai caòtic.

Tal com suggereix el nom, l'espai caòtic és una estranya regió de l'espai en la que els lleis físiques canvien constantment. Aquesta peculiaritat de l'univers *Star Trek* apareix en la cinquena temporada de *Voyager*. El cert és que la raó per la qual les lleis físiques del nostre univers són uniformes i constants, és una qüestió misteriosa que ha intrigat els científics al llarg del temps. No va ser fins l'any 1918 que la matemàtica Emmy Noether va descobrir que per tal de que un sistema conservés la simetria, era necessari incloure un principi de conservació.

El teorema de Noether, en el qual es resumeix el seu descobriment, és un dels pilars fonamentals de la física. Aquesta formulació matemàtica expressa la relació intrínseca que existeix entre la simetria física del nostre univers i les lleis de conservació. És a dir,

Física vint-i-quatre vegades per segon.

que la raó per la qual les lleis físiques són les mateixes en tot el cosmos, són els principis de conservació.

Aquest teorema impossibilita, doncs, l'existència de regions de l'espai on les lleis físiques fluctuïn i es transformin. Atès que en el nostre entorn l'energia, el moviment angular o la càrrega elèctrica, per exemple, es conserven, podem afirmar que l'univers es simètric i qualsevol regió de l'espai estarà governat per unes mateixes lleis físiques. Si respectem el teorema de Noether, doncs, un espai caòtic com el que presenta *Star Trek* és impossible.

5. Des de la dotzena dimensió.

“El arte es un juego, pero hay que jugar con la seriedad de un niño que juega”. Robert L. Stevenson

L'Univers d'*Star Trek* és un enreixat complicat de fenòmens misteriosos, lleis inexplicades i intuïcions físiques. Des de darrere la pantalla, hem aconseguit desenredar una petita part d'aquest fil llarg i tortuós, per a esbrinar el que se n'amagava al final. Hem descobert, per exemple, la propulsió Alcubierre, la teleportació quàntica, els universos paral·lels o les fractures en l'espai temps. Però malgrat l'èxit, és inevitable preguntar-nos sobre el sentit d'aquesta empresa. Podem fusionar dos mons tan diferents com art i ciència, o els hem de considerar cossos independents i incomunicats? És evident que el naixement de la sèrie es troba arrelat en el món humà, però podem garantir les connexions entre el cinema i la societat? *Star Trek* és un microcosmos adherit al nostre univers, o és un món paral·lel que nosaltres observem però no podem arribar a tocar mai?

La relació entre cultura i art ha sigut sempre un tema controvertit. El fet que s'influeixen mútuament és inqüestionable, però és realment necessari que l'art intervingui en la societat? L'univers artístic i l'humà estaran sempre lligats, o es poden considerar com dos mons separats i independents?

Naturalment, existeixen les mil i una respostes a aquesta pregunta. Un dels exemples més propers el trobem en el modernisme català. Fins i tot en un mateix corrent existien les dues versions: Rossinyol amb el seu “art per l'art”, tenia la capacitat de crear un món paral·lel on la tinta no tenien conseqüències més enllà del paper, on la seva traducció només podia ser un color o una textura. Altres, com Maragall, utilitzaven la literatura com un instrument per a enfilar l'agulla, el primer pas d'una llarga cadena en la que les paraules traspassaven el món de la literatura per a clavar-se en el cor de la societat.

Però l'enreixat de fils que regeix aquest món és tan complex, que és impossible extreure'n una conclusió clara. El cert és que les fronteres de l'art viatgen i s'escapen tan

Física vint-i-quatre vegades per segon.

dels desitjos de l'autor com de la consciència dels lectors. Les sensacions que pot provocar una paraula són il·limitades, les interpretacions d'una frase infinites, i sobretot, els dissenys originals de l'artista gairebé sempre són ignorats. És predir amb certesa quines seran les implicacions socials d'una obra. Qui sap quants poemes de Rossinyol van acabar traduint-se en accions humanes. No ens enganyarem, la creença que l'art és una disciplina purificadora és totalment falsa: podrien haver motivat tan un assassinat com una boda, la inspiració per a fer un pastís de pastanaga o el desig de pintar un quadre. I és que quan l'art sublima l'ànima no distingeix entre intencions *bones* i *dolentes*, no pot escollir entre allò *pur* i *impur*.

Però en aquest caos trobem un element segur: independentment del grau d'influència que exerceix, l'art sempre es trobarà lligat al món humà. Des del moment en que nosaltres en som els creadors i els consumidors, és inútil pujar murs, tallar llaços o eludir responsabilitats. Inevitablement, i per petit que sigui, sempre existirà un nexa entre art i persona.

El cinema, i per extensió, la televisió; constitueix un cas especial en aquest context. El setè art necessita la presència d'un espectador per a completar el seu cicle artístic. Evidentment, tots els mitjans artístics estan formats per una cadena autor-obra-receptor, però en el cas del cinema cal destacar el caràcter popular que ha acompanyat tot el procés. De la mateixa manera que en el teatre -i a diferència de la literatura culta, la pintura o l'escultura-, els primers autors de cine van ser aficionats, artesans i fotògrafs de classe mitjana que començaren a experimentar amb aquesta nova tecnologia. I el més important: les seves obres no anaven dirigides a les classes adinerades, sinó al poble. Aquesta característica fou molt significativa durant els primers anys del cinema, durant els quals, a conseqüència d'això, els espectacles eren itinerants, assequibles, i gaudien, en la majoria dels casos, del menyspreu de les classes burgeses. Així doncs, el cinema nasqué marcat amb un signe inconfusible: el del comerç.

Tot i que amb el temps aquest distintiu s'ha anat atenuant i han sorgit altres formes de cinema que pretenen no ser comercials, el cert és que la necessitat de ser "venut" ha sigut una constant en el setè art. La literatura també dona molta importància a la difusió de l'obra, doncs ambdós són gèneres que fàcilment poden arribar al públic; però a diferència del cinema no ho considera una necessitat. Això és degut, principalment, a que els costos de producció del cinema són molt superiors als d'una obra literària.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Únicament la creació d'una indústria cinematogràfica ha sigut capaç de mantenir viu aquesta disciplina, i evitar que s'enfonsés en la falta de recursos.

Tanmateix, la veritat és que aquest mètode de funcionament no ha perjudicat en absolut el cinema. La necessitat d'arribar al gran públic s'ha traduït en un perfeccionament exhaustiu de la narració, la interpretació dels actors i sobretot, del llenguatge cinematogràfic. La comunicació entre l'obra i l'espectador s'ha convertint en un punt clau, amb la conseqüent creació d'un entreteixit complex i treballat de signes i codis, no només lingüístics, sinó també d'imatge, so i ritme; que estem tan acostumats a interpretar que hem deixat de ser-ne conscients.

Star Trek, evidentment, es troba emmarcat dintre d'aquest sistema de comunicació audiovisual i està igualment afectat per la necessitat d'arribar al públic. Si barregem aquesta dificultat amb la ciència, ens enfrontem a una empresa certament difícil. No només s'han de transmetre fenòmens científics de manera clara i entenedora, sinó que a més a més han de resultar divertits i atractius.

El setè cel.

Actualment és innegable que existeix un problema social amb la ciència. Els motius són, principalment, dos. En primer lloc, és cert que s'ha produït una sofisticació important d'aquesta disciplina amb el naixement de models tan complicats i anti-intuïtius com la teoria de la relativitat, la mecànica quàntica o la teoria de cordes. La dificultat de comprensió d'aquestes matèries s'estén fins a endinsar-se dintre del propi món científic. Però el que hauria de ser un atenuant significatiu, s'acaba convertint en un agreujament a causa de la seva absència: la divulgació científica. La inexistència d'una tradició informativa de caire científic, ja sigui a través de novel·les, revistes o sèries de televisió, posa de manifest aquesta situació crítica, en la que la ciència cada cop es converteix en una disciplina menys assequible i la societat es mostra menys interessada en entendre-la.

En aquest context, *Star Trek* s'enfronta a una pregunta difícil: ha de ser una sèrie divulgadora? La resposta s'expressa de manera prou clara: evidentment, no ho és.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Star Trek és, fonamentalment, un gènere d'entreteniment i diversió. Tanmateix, la ciència ficció juga un paper important en aquesta tasca. L'escenificació de l'impossible és vertiginosament emocionant i divertida. I el més enlluernador apareix fora de la pantalla, quan aquestes situacions absurdes i impossibles traspassen la frontera i entren la realitat.

Com ja és sabut, l'objectiu d'aquest treball és analitzar l'univers físic d'*Star Trek* cercant teories capaces d'explicar els fenòmens físics que hi tenen lloc i destacant els errors que sorgeixen quan les apliquem. D'aquesta manera, estudiant l'impossible aconseguim apropar-nos-hi una mica més. I és que una proposta absurda o un somni fantàstic podria convertir-se en una nova revolució científica.

Malgrat tot, això no impedeix que algunes de les propostes de la sèrie segueixin sent impossibles, no evita confirmar que a vegades presentin situacions absurdes i tampoc és un obstacle a l'hora de destacar que molt sovint realitzen errors terribles. Un cop analitzat científicament la viabilitat o no dels fenòmens que presenta, és possible opinar-ne. I tot i així, pot ser que alguns dels fenòmens que en aquest treball cataloguem com errors, es converteixin futurament en solucions viables. Després de tot l'esforç, podem concloure que res del que diem en aquest treball és absolut. La ciència segueix i seguirà sent una disciplina mutant, discutible i anti-dogmàtica.

Però com ja hem dit, ni el fet de que es tracti d'una sèrie d'entreteniment ni la relativitat de la ciència poden evitar la crítica a *Star Trek*. Tot i així, volem matisar la naturalesa d'aquesta crítica.

Cap disciplina humana pot quedar exempta de l'humor, la crítica, la caricatura o l'error. Sabent això, atacar *Star Trek* per la seva falta de rigor científic podria interpretar-se com una sobreprotecció de la ciència. Però de fet, considerar que els criteris científics són sagrats i per tant inviolables, acabaria convertint aquesta disciplina en un terreny immaculat, i amb el temps, avorrit. Inevitablement, vulgaritzar, riure i versionar forma part de la naturalesa humana, i la llengua, la filosofia o la religió en són alguns dels màrtirs més coneguts. I avui dia, ni tan sols la ciència en queda lliure.

Les observacions que volem destacar no van encaminades en aquesta direcció. La degeneració del saber científic és un procés natural i que s'estén en tots els àmbits humans. La nostra crítica rau en el següent: *Star Trek* posseeix les eines per conèixer i respectar un criteri científic. En certes ocasions, decideix avançar un pas més enllà i

Física vint-i-quatre vegades per segon.

entrar en el món de l'impossible. Aquest és un pas valent. Però d'altres vegades, aquest pas no va cap endavant, sinó cap enrere; i aquest moviment és un moviment absurd.

Amb això ens volem referir especialment a l'apartat de "raretes i peculiaritats". Alguns d'ells, com l'espai caòtic, són propostes arriscades i impossibles en el marc de la física tal com la coneixem, però no cauen en la vulgaritat. En canvi, errors com els que es veuen en el cas de forats negres arriben a resultar ridículs. Atès que ja trobem una teoria que explica els efectes que produiria entrar en una singularitat d'aquest tipus, respectar-la és fàcil. Com a mínim, i en el cas de que crear el complicat adient fos excessivament car, a través dels diàlegs.

Però justament aquests capítols recolzats per una teoria existent són els que presenten un nombre major d'errors. I aquestes errades estan originades, generalment, per una indiferència total i absoluta per part dels guionistes respecte els criteris científics existents.

El que volem remarcar és que, de la mateixa manera que *Star Trek* realitza un paper esplèndid en ciència-ficció i ofereix propostes molt interessants; és possible respectar les lleis de la física al mateix temps que es diverteix el públic. Evidentment, no demanem un compliment absolut i pulcre de totes les lleis físiques. Justament la capacitat per a traspasar els límits és una de els fites d'*Star Trek*. Simplement volem destacar que l'univers científic està ple de propostes interessants. No sempre cal recórrer a l'impossible i plantejar situacions, no només controvertides, sinó directament prohibides; per a posar els pèls de punta a l'espectador. A vegades la resposta es troba dintre dels mateixos límits de la física. Per exemple, el fet que si caiguéssim a dintre d'un forat negre podríem veure la seva història des del final fins a l'origen, és una situació que escapa de la imaginació de qualsevol, i en realitat es troba dintre de les propietats intrínseques de la singularitat. Experimentar amb meravelles físiques com aquesta seria molt més interessant que no inventar-se un grapat de partícules amb noms estranys.

Les crítiques que farem a continuació i que s'estenen al llarg del treball no són, doncs, un intent de divinitzar la ciència o de sobreanalitzar una sèrie que, de fet, és d'entreteniment. Senzillament respon a un interès investigador, a intentar trobar les fronteres de l'impossible i rescatar d'un mar inexplorat petits naufrags sorpresa. I és clar, quan trobem vaixells apropant-se a la fi del món a través d'aigües invisibles, també volem agafar el timó i canviar-ne el rumb. Però no cal espantar-se: no convertirem *Star*

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Trek en el setè cel de la ciència i el cinema. Hi han coses que, amb el seu vernís *kitsch* i un indescriptible to llegendari, segueixen estan bé tal i com estan.

El llenguatge de les imatges.

Un dels grans problemes amb els quals ens enfrontem a l'hora de tractar *Star Trek* és la dificultat per a compaginar un llenguatge cinematogràfic amb el rigor científic. Contínuament sorgeixen abusos de llenguatge i d'imatge, que poden ser provocats tan per un intent d'atraure el públic, com per una manca de base científica. Però com dèiem al principi, els lligams entre art i humanitat són invulnerables. Tots els codis cinematogràfics es basen en el complex món del llenguatge humà, el sentit comú i la intuïció. I quan aquests s'enfronten a la ciència, és aquesta última la que acostuma a sortir perdent.

Seguidament destaquem alguns dels errors relacionats amb el llenguatge cinematogràfic que tenen lloc a *Star Trek*:

- **El pes és diferent a la massa!** Aquesta és una de les cantarelles més conegudes de les classes de física elemental. I malgrat els esforços de professors i llibres, és un error que s'estén a l'àmbit quotidià, i fins i tot aconsegueix envair subtilment *Star Trek*. En el capítol “El emisario”, de la primera temporada de *Deep Space Nine*, confonen massa amb pes. El problema al qual s'enfronten en aquest episodi és moure una enorme estació espacial. Finalment troben una solució, que consisteix en crear un camp inercial, en el que la nau levita, de manera que la *massa* de l'estació disminueix i per tant és més fàcil traslladar-se. Però el cert és que la massa és un valor invariable i intrínsec a una partícula, un sistema o un cos. No es pot modificar. El pes, en canvi, és una força (en el nostre cas, la força amb la que ens atrau la Terra), i com a tal es pot compondre amb altres forces per tal de reduir-la, canviar-ne la direcció o sentit, o augmentar-la. Per tant, la solució que donen podria ser vàlida per a una estació ancorada a un planeta i lligada en termes de força a aquest; però per a una estació que es trobés a l'espai exterior, seria un procés absurd. La massa seguiria sent la mateixa i per tant, tenint en compte que la

Física vint-i-quatre vegades per segon.

força és equivalent al producte de l'acceleració per la massa; seria necessària la mateixa força per a moure l'estació.

● **L'*Enterprise* perd alçada?** Aquest no és un error del text original, sinó del doblatge. En el capítol “Causa y Efecto” de la cinquena temporada de *The Next Generation*, mentre que en anglès diuen “We're losing the attitude control”, la traducció espanyola és “Estamos perdiendo altura”. *Attitude*, que podríem traduir com actitud, és l'orientació de la nau en l'espai, en referència a un marc dimensional. Aquest concepte té un sentit físic i és utilitzat en l'espai exterior per a expressar la situació de les naus. En canvi, “estamos perdiendo altura” és una frase buida de significat: respecte a què? Aquesta expressió té sentit en el món aeri, en la que pèrdua d'alçada és sinònim d'accident. Tanmateix, i malgrat encaixa en el nostre sistema intuïtiu, no té cabuda en el marc del viatge interestel·lar. El cert és que, com aquesta, apareixen diverses expressions que estan relacionades amb el món del transport marítim i aeri.

Per exemple: en el capítol *Causa y Efecto* de la cinquena temporada de *The next Generation*, una oficial diu “El timón no responde”. El timó serveix per a canviar de rumb en un medi fluid -el mar-, però no tindria cap sentit usar-lo en l'espai, on la nau navegaria per l'espai buit. També apareixen referències constants als deflectors, que són utilitzats per a canviar de rumb en els avions, i que com el timó, requereixen la presència d'un medi fluid.

Aquestes petites incursions del nostre món a l'univers *Star Trek* apropen l'*Enterprise* i tot el que l'envolta a la nostra realitat. El cert és que la utilització d'aquest vocabulari pot ser considerat com un recurs cinematogràfic, doncs la utilització d'un llenguatge pròpiament espacial dificultaria la comprensió i faria els diàlegs més feixucs.

● **Els forats de cuc no són una planta carnívora.** En el capítol “El emisario” es mostra com el forat s'obre davant l'entrada d'una nau, per tancar-se ràpidament. Aquesta actuació semblant a la d'una planta carnívora en presència d'una mosca és totalment falsa. Els forats de cuc són fractures de l'espai-temps invariables. És a dir, no es poden obrir i tancar a plaer -excepte si es té la capacitat de manipular una gran quantitat d'energia- i per tant, si són estables, es mantenen obertes, i si no ho són, es tanquen per a no tornar-se a obrir. Evidentment, aquesta imatge és un reclam per al públic. La idea

Física vint-i-quatre vegades per segon.

d'un *forat de cuc invisible*, que desapareix un cop ha sigut utilitzat i connecta secretament indrets diferents de l'univers, és un construcció misteriosa i atractiva. L'espectacularitat de la singularitat augmenta en obrir-se per sorpresa, mostrant els seus colors exuberants a un públic impressionat. Malauradament, segons les lleis de la física és impossible.

• **La sobreexplotació del llenguatge científic.** *Star Trek* utilitza excessivament la terminologia científica, i sobretot, de manera incorrecta. L'error no es troba en un abús d'expressions o dades científiques, sinó en que es barregen conceptes i adjectius diferents per formar construccions impossibles. Trobem varis exemples:

- L'expressió *iones polàrics* atorga a una partícula -els ions- una característica pròpia de els molècules -la polaritat-.

- Les *granades de fotons* són una arma molt potent, però que contenen també una forta redundància en el seu nom: el fotó és la unitat energètica. Per tant, seria el mateix que anomenar-les *granades que utilitzen energia*.

- El *polarímetro de gravitones* és una estranya eina capaç de mesurar la densitat de la gravetat. Tanmateix, un polarímetre serveix per a realitzar mesures sobre la desviació de raigs de llum direccionats, i els gravitons encara són una partícula hipotètica. La mesura d'una partícula hipotètica mitjançant un instrument que mesura l'angle dels raigs de llum seria una empresa arriscada.

Apart d'aquestes construccions incoherents, també trobem l'existència de paraules inventades o que senzillament no troben referent en el nostre univers. Alguns dels exemples en són les *emanacions de verterones*, l'*haz dekyon*, les *turbulencias trinímicas*, o partícules com el *triano*, el *durani* i el *ditri*.

Aquest conjunt d'errades posen de manifest una situació ambigua: tot i que sovint s'eludeixen certs efectes físics o es simplifiquen alguns fenòmens, en realitat la ciència és un reclam per al públic. Així doncs caldria tenir en compte, potser, una tercera causa, més enllà de la ignorància científica per part dels realitzadors o la por d'espantar el públic amb un excés d'informació: la falta de pressupost.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

No hem d'oblidar que els decorats i els efectes especials són cars, i a vegades una petita aproximació científica pot estalviar uns quants milers de dòlars. I és que, ens agradi o no, el món de l'art (i de l'art d'entretenir) segueix estant lligat a les misèries humanes.

Les fronteres del cinema.

Inevitablement, doncs, el setè art seguirà estant lligat a les nostres capacitats, a la realitat en que vivim, als nostres somnis i les nostres pors. Però al mateix temps, l'experiència humana estarà enllaçada al cinema. Una obra artística no només és creada en el bressol de l'essència humana i en porta un segell inconfusible, sinó que també conserva la capacitat de refer el camí per a arribar a un espectador, i fer-lo plorar, riure, estremir-se de por o apartar-ne els ulls amb fàstic. No podem oblidar que la relació entre art i persona és un intercanvi bidireccional, i de la mateixa manera que l'obra rep, també dóna.

Aquesta qüestió és, en realitat, el *leitmotiv* del treball, la peça sense la qual aquest enorme trencaclosques no tindria sentit. És la capacitat del cinema i la ciència-ficció per a traspasar fronteres, per a endinsar-se en l'impossible i dur-ne un regust al nostre món, la que ens anima a analitzar l'univers d'*Star Trek* buscant els límits de la fantasia.

És a dir, que el cosmos de ciència-ficció que mostra la sèrie no és un indret tancat i inescrutable, sinó que podem aprendre'n, i fins i tot, traduir-lo a la realitat. I és que les qüestions que planteja *Star Trek* s'han estès pel món humà fins arribar a la comunitat científica.

L'exemple més bonic és el de la propulsió Alcubierre. Per increïble que sembli, va ser primer *Star Trek* la que va proposar un sistema de propulsió per distorsió, i després va venir la teorització científica. El propi Miguel Alcubierre admet la influència de la sèrie en el desenvolupament de la seva teoria: “La gente de *Star Trek* seguía hablando de propulsión por distorsión, la idea de que uno está distorsionando el espacio -dice-. Nosotros ya teníamos una teoría sobre cómo puede distorsionarse el espacio, y esa es la teoría de la relatividad general. Pensé que debería haber una manera de utilizar estos conceptos para ver cómo funcionaría un impulso por distorsión”. (*Física de lo imposible*, pàgina 244-245).

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Aquest pas suposa una fita increïblement important. És una mostra de com una font de fantasia es pot convertir en la llavor per al treball científic. Malgrat la presència d'errors, els suggeriments d'*Star Trek* no són propostes cegues; cosa que es demostra en que la majoria de fenòmens físics troben recolzament en una teoria o explicació científica. Investigar els petits detalls i els fenòmens espectaculars de la sèrie és intentar apropar-nos una mica més cap a l'absurd, però també cap a la utopia i la conquesta de l'irrealitzable.

En aquest treball hem volgut aprofitar l'oportunitat que ens brindava *Star Trek* i hem obert la porta de l'impossible. I és que els límits entre realitat i ficció són cada vegada més difosos, fins al punt que la ciència ha superat la fantasia. I quan això passa, l'interessant és poder tornar enrere i estudiar detalladament les aportacions de la ciència-ficció, per tal d'intentar evitar la irònica situació que, en aquests enormes salts científics, ens haguéssim deixat alguna cosa pel camí.

En conclusió, per increïble que sembli a vegades, no existeixen fronteres per al cinema, sinó únicament les marcades pel propi espectador. Els llaços entre el nostre món i el de la ciència-ficció seguiran existint fins a fusionar-se... I formar una realitat on *Star Trek* sigui una petita bombolla conceptual que flota dintre dels nostre univers; i la pantalla de la televisió, la seva dotzena dimensió.

6. Conclusions.

“Y espero que nuestros bisnietos me agradecerán no sólo cuanto aquí he recogido, sino aquello que he omitido deliberadamente para permitirles el placer de encontrarlo.” René Descartes

L'objectiu del treball era demostrar com la relació entre fantasia i ciència, així com entre art i persona, és un procés bidireccional. No només la ciència-ficció està alimentada pels nostres somnis sobre l'impossible; sinó que a més a més podem arribar a l'inabastable per la via de la ciència-ficció. I és que la fantasia és l'encarregada d'explorar els indrets on no hi arriba ningú més, i com a tal, suavitza i facilita el camí de la realitat cap al cim de l'inabastable.

Però no s'ha de considerar aquest treball com un projecte tancat, i pensar que el que aquí s'ha classificat com impossible queda desterrat per sempre més a un univers de somnis inassolibles. La ciència es transforma constantment, i allò que en un primer moment es considerava una veritat absoluta passa a convertir-se en una creença absurda del passat. Conseqüentment, no podem considerar cap recerca com a finalitzada ni cap disciplina com a morta. Els nous descobriments científics no ens porten cap un terreny desert d'investigació, sinó cap a una selva verge plena de misteris per a esbrinar. Doncs una resposta no és un punt final, sinó la nova font d'un seguit de preguntes infinites.

El problema radica, però, en realitzar les preguntes correctes. I és que qüestionar-se sobre el que és aparentment absurd no és una tasca fàcil, i passa sovint que costa tan trobar la solució a un problema, com una persona capaç de plantejar-lo. Per això, la importància d'*Star Trek* no rau en les respostes que aporta, sinó en les preguntes que planteja. És una conclusió sorprenent i deliciosa, i segurament, molt més valuosa del que alguns puguin interpretar a simple vista. I és que *Star Trek* no és la representació del futur... és una de les eines que ens permetrà arribar-hi.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Annex 1: Relació dels capítols analitzats.

Temporada 5 *The Next generation.*

Bucle Temporal.

Nuevo territorio

Temporada 7 *The Next Generation.*

La fuerza de la naturaleza

Paralelos

Temporada 1 *Deep Space Nine (DS9).*

El Emisario .

Temporada 2 *Deep Space Nine (DS9).*

El sendero

Temporada 1 *Voyager:*

2.Parallax

3. Otra vez al pasado.

6. El hoyo negro.

15. Momento crítico.

Temporada 2 *Voyager:*

17. The 37's.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Temporada 5 *Voyager*:

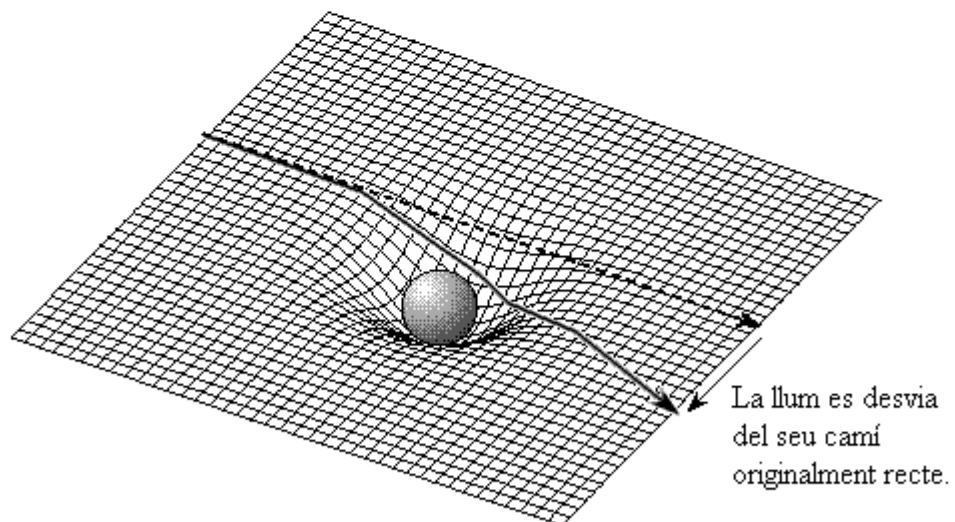
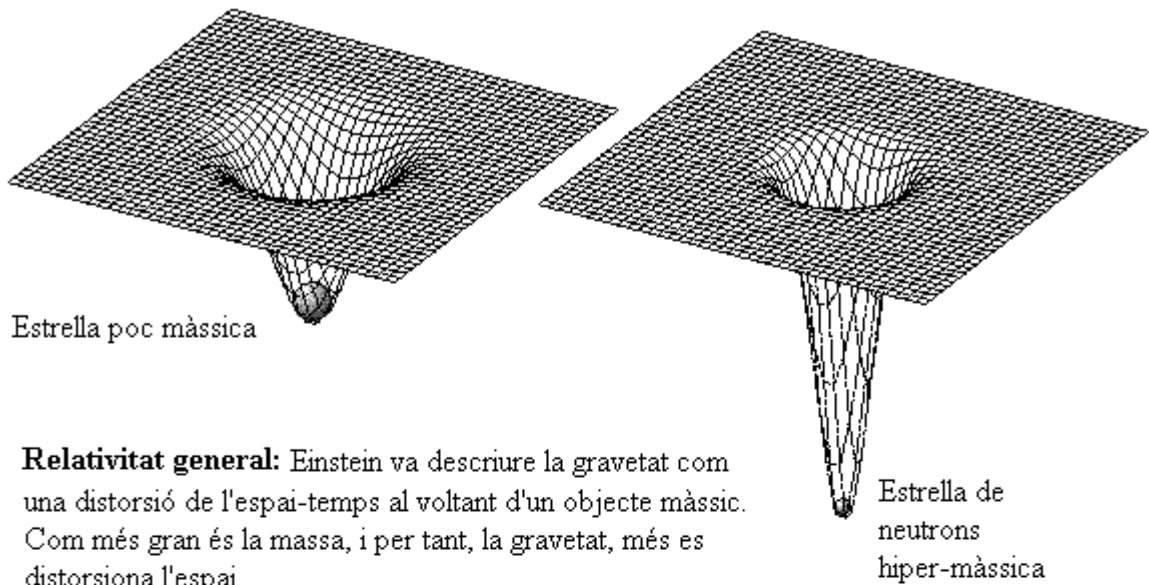
13. *Gravedad.*

17. *La Ruta al olvido.*

18. *La pelea.*

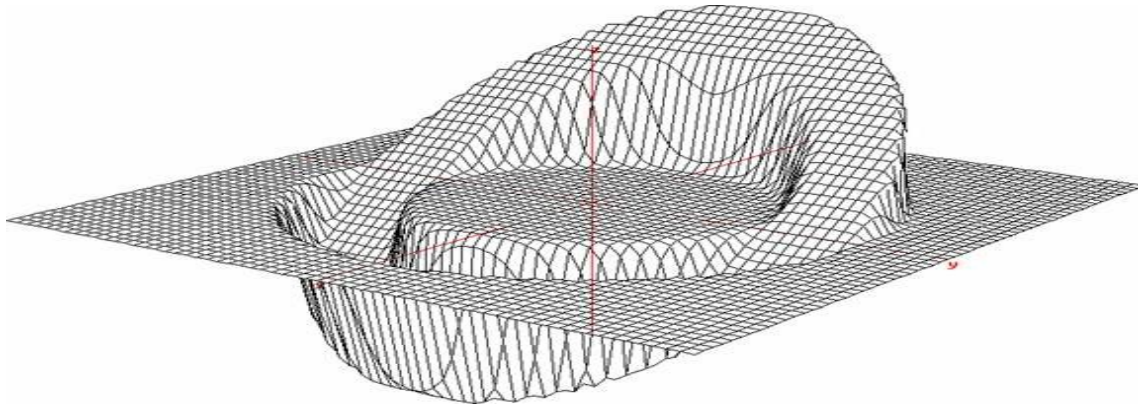
Annex 2:

Imatge explicativa de la teoria de la relativitat d'Einstein, segons la qual la gravetat és una deformació de l'espai-temps:



La llum viatja per l'espai curvilini seguint el camí més curt entre dos punts. Conseqüentment, es desvia cap a l'objecte massic en passar aprop seu. Com més forta és la gravetat, major serà la desviació del raig de llum.

Annex 3.



Aquesta imatge és un esquema gràfic que exemplifica com s'hauria de deformar l'espai en la propulsió Alcubierre. La part *enfonsada* és aquella que s'ha contret degut a la presència d'una gran quantitat d'energia. L'altre, que es troba per sobre de l'espai pla, s'ha estirat, apropant els objectes llunyans. L'*Enterprise* es situaria just al mig: en el cercle en que l'espai-temps no es troba deformat. Aquest esquema és clau per a entendre les propietats de la propulsió Alcubierre. Com podem veure, el cercle on es situaria l'*Enterprise* no presenta deformació, fet que explica perquè la nau no pateix cap acceleració. A més a més, es troba al mateix nivell que l'espai-temps pla de l'exterior, cosa que justifica la manca de dilatació temporal, doncs el temps de dintre de la nau transcorreria igual que per a un observador extern en repòs.

Física vint-i-quatre vegades per segon.

Annex 4.

Disponible únicament en la versió en paper.

Glossari.

Animació suspesa: És una tècnica a partir de la qual es pot encaminar a un ésser viu a un estat en el qual les seves funcions s'han alentit fins a reduir-se a uns mínims; però sense arribar a la mort. Seria equivalent a portar a l'extrem el procés d'hibernació d'alguns mamífers. Actualment s'està treballant fervorosament per aconseguir fer-la possible en humans, i de moment ja s'ha aconseguit de manera moderada en mamífers que no hibernen de manera natural, com porcs, ratolins i gossos. Tot i que encara es troba en una etapa prematura del seu desenvolupament, pot ser que amb el temps s'arribi a aconseguir en un humans. Si fos així suposaria un gran avanç en medicina, així com en viatges interestel·lars, doncs permetria mantenir-se en un estat de vida latent durant llargs períodes de temps per després “reviure” i reprendre el seu estat de funcionament natural.

Coherència quàntica: És un estat de la matèria on la funció d'ona és la suma neta dels diferents estats possibles de la partícula. En un sistema totalment coherent és impossible determinar quin estat mesurarem quan realitzem una observació, ja que tots són equiprobables.

Components intrínsecs de l'acceleració: L'acceleració total que pateix un mòbil es pot desglossar en el camp teòrics en dos, per tal de facilitar la seva comprensió i manipulació. Aquestes són l'acceleració tangencial, que canvia el mòdul de la velocitat, és a dir, la celeritat del mòbil; i l'acceleració normal, que és la que canvia la direcció del moviment. Per entendre-ho podem imaginar les situacions següents. En la primera, un mòbil es mou en línia recta i la seva velocitat augmenta 3 m/s per minut. Només existeix acceleració tangencial, ja que la direcció en que es mou no varia però en canvi sí que ho fa la seva celeritat. Ara imaginem que som capaços de crear uns cavallets (el *carousel* en francès) sense fregament, i un cop els comencéssim a fer girar, no els paréssim mai. Girarien a velocitat constant, però això no significa que no existís acceleració. Com que la velocitat és un vector, no té un valor absolut, sinó que està orientat i amb sentit en les coordenades de l'espai. La component normal seria l'encarregada de canviar la direcció d'aquesta velocitat, modificant-la.

Condicions d'energia: Les condicions d'energia són eines matemàtico-físiques que s'utilitzen principalment en teories de camp gravitatori relativistes. La seva funció és excloure totes aquelles solucions a l'equació d'Einstein que plantegin situacions impossibles físicament, com per exemple corbes tancades de temps. Així doncs les quatre condicions d'energia són: dominant, forta, feble i nul·la. Són una eina útil quan es vol comprovar l'eficàcia d'un camp sense especificar les propietats dels cossos que hi intervenen. Tanmateix, existeixen alguns efectes físics comprovats experimentalment que violen algunes d'aquestes condicions energètiques. Per exemple, l'efecte Cassimir, que s'utilitza per demostrar l'existència d'energia negativa, viola totes les condicions d'energia excepte la nul·la. Alguns físics han arribat a la conclusió que, quan es violen aquestes tres condicions d'energia -feble, dominant i forta- no significa que la situació sigui físicament impossible, sinó únicament que es necessita energia negativa per a que tingui lloc.

Estat de Bell: L'estat de Bell és una situació de màxim entrellaçament quàntic entre dues partícules. Els quatre estats de Bell són definits com els quatre exemples possibles més senzills de partícules màximament entrellaçades.

Ferromagnètic: Els materials ferromagnètics són aquells que presenten ferromagnetisme. Aquesta propietat implica una reordenació dels moments magnètics de la mostra, de manera que tots adopten una mateixa direcció i sentit i el material es sent tret cap al camp magnètic. El coure, el ferro, el níquel, i alguns dels seus compostos derivats són alguns dels materials ferromagnètics que es coneixen actualment.

Geodèsic: És la línia més curta entre dos punts, en una superfície que ha sigut delimitada matemàticament. Per exemple, una línia recta en una superfície plana o un arc màxim en una esfera.

Ions polàrics: Els ions polàrics són un estrany invent d'*Star Trek*. El seu propi nom amaga un error: la polaritat és una propietat de les molècules, no de les partícules. En qualsevol cas, poden ser utilitzats com a arma o com a font d'energia, manifestant, en aquest últim cas, unes

Física vint-i-quatre vegades per segon.

propietats molt semblants a les de l'energia nuclear.

Matèria exòtica: Es cataloga com a matèria exòtica a aquelles partícules prohibides per la física clàssica, atès a que violen alguna de les condicions d'energia. S'ha demostrat, però, que algunes d'aquestes realment existeixen, com l'energia negativa. Les propietats de la matèria exòtica són estranyes i sorprenents. Per exemple, la matèria negativa, si existís, seria més lleugera que el no-res, i en comptes de sentir-se atreta pels altres cossos, seria repel·lida.

Neutrí: Els neutrins són una partícula del tipus fermió. Són elèctricament neutres i la seva massa és molt inferior a la de l'electró –de fet, es creu que és nul·la, però encara no s'ha pogut comprovar-. Degut a les seves característiques és molt difícil detectar-los, però sorprenentment es troben a l'univers en grans quantitats. De fet, es creu que bilions de neutrinos travessen la Terra cada segon, però només una part infinitament petita interacciona amb altres partícules.

Principi de localitat: Aquest principi afirma que dues partícules separades espacialment no poden interaccionar, i per tant, una no influeix sobre l'altre. Amb el temps s'ha demostrat que aquest principi pot ser violat en alguns casos, com l'entrellaçament.

Radiació còsmica de fons o Fons còsmic de microones: És una radiació molt baixa, inclosa en el rang de les microones, d'una temperatura d'uns 2,7 graus Kelvin. S'estén per tot l'univers i actualment es creu que és un producte residual del Big Bang.

Romulans: Els romulans són una espècie alienígena de l'univers Star Trek, que s'organitzen socialment d'una manera molt semblant a l'Imperi Romà, i estan marcats per l'avarícia, la desconfiança, l'oportunisme i l'excés de passió. Des del punt de vista de la Federació són jutjats com una espècie traïdora i que pot ser perillosa, degut al seu desig incontrolable de poder i a la seva desconfiança cap a les altres races.

Superconductors: Els superconductors són materials especials que perden pràcticament tota la resistivitat al pas de corrent elèctric a baixes temperatures. Tot i que actualment les temperatures necessàries per a que aquests superconductors funcionin són extremadament baixes, és possible que en un futur siguem capaços de reduir aquesta temperatura límit fins aconseguir “superconductors a temperatura ambient”, o una aproximació.

Teoria del tot: També anomenada teoria unificada o teoria del camp unificat, s'ha convertit en els últims anys en la Pedra Filosofal de la física. Com el seu propi nom indica, l'objectiu d'aquesta teoria seria poder explicar tots els fenòmens físics mitjançant un únic model. Aquesta és una tasca extremadament difícil, especialment avui dia, quan trobem teories tan diferents com la mecànica quàntica i la relativitat.

Fonts d'informació.

Bibliografia:

ALSINA Claudi, *El club de la hipotenusa: un paseo por la historia de las matemáticas a través de sus anécdotas más divertidas*. Barcelona: Ariel, 2008.

KAKU Michio, *Física de lo imposible*. Barcelona: Debate, 2009.

KAKU Michio, *Hiperespacio: Una odisea científica a través de universos paralelos, distorsiones del tiempo y la décima dimensión*. Barcelona: Crítica, 2007.

PONT J. J.; LUPIÁÑEZ M. M.: *Física i ciència-ficció*. Barcelona: Edicions UPC, 1994.

Pàgines web:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Antimateria>

http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_condition

http://ca.wikipedia.org/wiki/Via_L%C3%A0ctia

<http://www.members.shaw.ca/mike.anderton/WarpDrive.pdf>

<http://www.aereo.com/2009/07/22/el-x-49a-el-avion-mas-rapido-del-mundo-nave/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Exotic_matter

http://www.cienciapopular.com/n/Astronomia/Agujero_de_Gusano/Agujero_de_Gusano.php

<http://www.astroseti.org/vernew.php?codigo=280>

<http://www.krioma.net/articles/Bridge%20Theory/Einstein%20Rosen%20Bridge.htm>

[http://www.telepolis.com/cgi-bin/web/DISTRITODOCVIEW?](http://www.telepolis.com/cgi-bin/web/DISTRITODOCVIEW?url=/1379/doc/2/BlackHole2.htm)

[url=/1379/doc/2/BlackHole2.htm](http://www.telepolis.com/cgi-bin/web/DISTRITODOCVIEW?url=/1379/doc/2/BlackHole2.htm)

http://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_del_todo

<http://iopscience.iop.org/1126-6708/2007/12/018>

http://es.wikipedia.org/wiki/Blindaje_biol%C3%B3gico

http://es.wikipedia.org/wiki/Protecci%C3%B3n_radiol%C3%B3gica

http://www.espacioprofundo.com.ar/verarticulo/%BFQue_es_la_antimateria%3F.html

http://es.wikipedia.org/wiki/Entrelazamiento_cu%C3%A1ntico

Física vint-i-quatre vegades per segon.

http://es.wikipedia.org/wiki/Paradoja_EPR

<http://www.fing.edu.uy/~abal/trabajos/tdet.pdf>

http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_Bell

<http://forum.lawebdefisica.com/threads/1877-Entrelazamiento-cu%C3%A1ntico>

http://www.quantiki.org/wiki/Bell_state

<http://www.taringa.net/posts/info/1105619/Aceleraciones-y-Fuerzas-G.html>

http://www.astrocosmo.cl/h-foton/h-foton-03_08-03.htm

http://es.wikilingue.com/fr/Irwin_Shapiro

<http://memory-alpha.org/wiki/Parallax>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Dilataci%C3%B3n_del_tiempo#Dilataci.C3.B3n_del_tiempo_p
or_velocidad](http://es.wikipedia.org/wiki/Dilataci%C3%B3n_del_tiempo#Dilataci.C3.B3n_del_tiempo_p
or_velocidad)

<http://delvacioalaeternidad.blogspot.com/2008/09/el-efecto-shapiro.html>

http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_Noether

[http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/propulsion/2-what-is-attitude-
control.html](http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/propulsion/2-what-is-attitude-
control.html)

<http://casa.colorado.edu/~ajsh/schww.html#glimpse>

<http://www.solociencia.com/fisica/06102601.htm>

http://es.wikipedia.org/wiki/Teleportaci%C3%B3n_Cu%C3%A1ntica

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/Rc-42/RC-42.htm>

http://www.nasa.gov/centers/glenn/technology/warp/ideachev_prt.htm

http://members.fortunecity.es/caroldax/reactor_materia.htm

[http://www.monografias.com/trabajos52/particulas-subatomicas/particulas-
ubatomicas2.shtml#neutri](http://www.monografias.com/trabajos52/particulas-subatomicas/particulas-
ubatomicas2.shtml#neutri)