



Interstellar, la pel·licula

Enric Marco

Interstellar de Christopher Nolan conta les peripècies d'uns astronautes amb la missió de salvar la humanitat. És el film més interessant de l'any 2014 per l'argument, per la reflexió que fa sobre el possible futur de la vida a la Terra però sobretot per l'acurada precisió en l'aplicació de les equacions de la Relativitat General d'Einstein.

Interstellar de Christopher Nolan conta les peripècies d'uns astronautes amb la missió de salvar la humanitat. És el film més interessant de l'any 2014 per l'argument, per la reflexió que fa sobre el possible futur de la vida a la Terra però sobretot per l'acurada precisió en l'aplicació de les equacions de la Relativitat General d'Einstein.

És ben reconfortant saber que l'acurada aplicació de les lleis de la física és la base principal de l'acció de les pel·lícules de ciència ficció més taquilleres del 2013 i del 2014. Tant Gravity, com Interstellar ens porten a possibles mons futurs i tot això sense malmetre la realitat física.

Però mentre Gravity situa l'acció en l'espai pròxim a la Terra i ens endinsa en els problemes de les naus en òrbita i els perills que afronten els astronautes cada dia, Interstellar ens porta a un final apocalíptic per a la humanitat que només pot ser resolt per l'aplicació estricta de la tècnica i de la Relativitat General. Un projecte filmic arriscat que només podria reeixir amb l'assessorament d'un dels màxims experts en el tema, Kip Thorne.

Avís: a partir d'ací, es faran contínues referències a diverses parts del film. Si no has vist encara Interstellar i no vols que et revetle el final, millor no continues.

Interstellar ens situa en un món plausible en el que els recursos naturals s'han exhaurit, les plagues assoten els



cultius i en el que immenses tempestes d'arena cobreixen camps i ciutats. Una Terra en que la ciència i la tècnica no són útils ja que la humanitat només tracta de sobreviure. Com li diuen al protagonista Cooper (interpretat per Matthew McConaughey): *En aquest món ja no necessitem enginyers*. En aquest context apocalíptic, l'aparició d'un forat de cuc en les proximitats del planeta Saturn obre la possibilitat de viatjar al seu través per explorar primer i colonitzar després altres mons habitables per salvar tota la humanitat.

Aquest argument no seria res d'extraordinari si no fora perquè s'ha exprimit fins al final totes les possibilitats que la física ens ofereix per fer-ho creïble.

Un forat de cuc pel qual es puga viatjar no sembla que siga un tema en què els físics relativistes estiguen d'acord. La majoria opina que la seua existència és dubtosa, solament és una solució matemàticament vàlida de les equacions de la Relativitat General.

El problema principal radica que, d'existir, serien molt inestables i que es tancarien ràpidament.

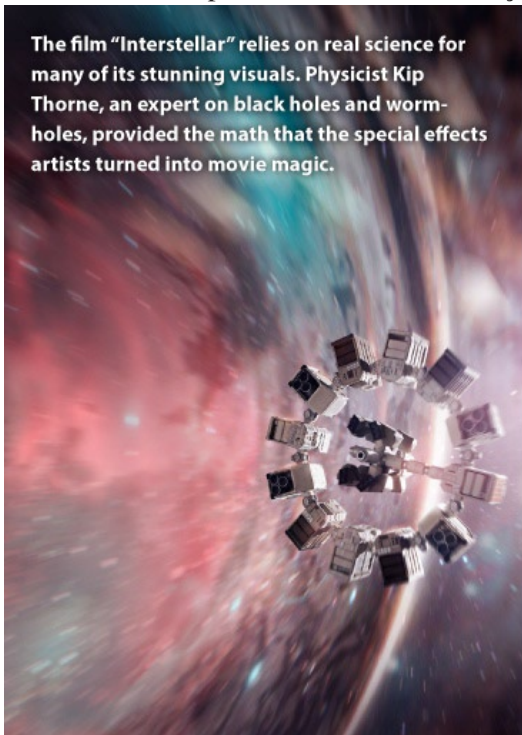
No obstant açò, científics notables com Stephen Hawking o Kip Thorne, assessor de la pel·lícula *Interstellar*, pensen el contrari. Açò sí, fa falta

l'existència de matèria exòtica per a estabilitzar aquests túnels d'espai-temps. Aquesta matèria hauria de tenir la particularitat de tenir densitat d'energia negativa per a estabilitzar el forat de cuc. L'efecte Casimir és un efecte quàntic que sembla que prova la possibilitat d'existència d'aqueix tipus de densitat d'energia negativa.

Però l'encert més important del film ha estat la representació més exacta d'un forat negre que mai s'ha fet fins ara, tant en una pel·lícula com en una recerca científica. L'aportació de l'astrofísic de Caltech, Kip Thorne, ha estat fonamental en aquest cas. La visió del disc d'acreció que forma el material calent que va caient dins del forat negre és espectacular. L'aproximació que fa la nau *Endurance* permet veure-hi tota mena de detalls. Però, a més a més, el forat negre està envoltat d'un anell de llum. L'efecte lent gravitatòria que causa la grandíssima massa de l'objecte central fa que siga possible veure la part del disc d'acreció situat al seu darrere per la part superior i inferior.

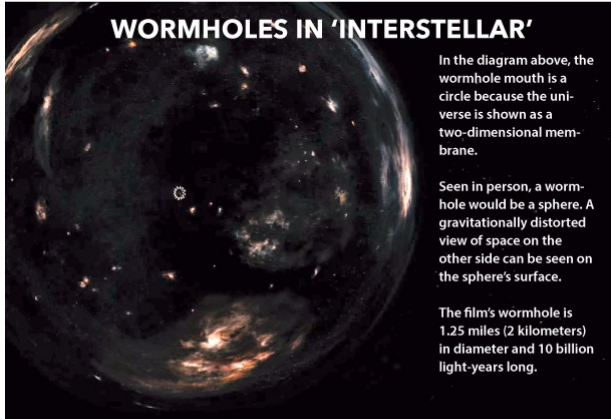
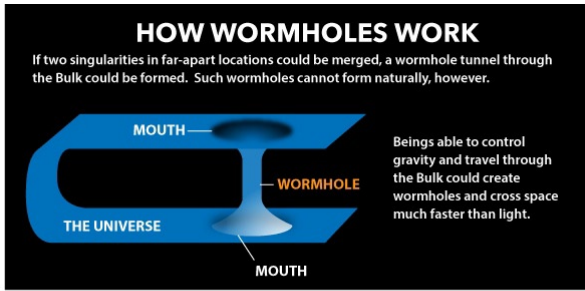
Però clar, un forat supermassiu, d'uns quants milions de masses solars, ha d'afectar el seu voltant de manera important. Així que la visita dels protagonistes al planeta de Miller, que es troba situat una mica per damunt del disc d'acreció, havia de tindre efectes importants sobre les seues vides.

The film "Interstellar" relies on real science for many of its stunning visuals. Physicist Kip Thorne, an expert on black holes and wormholes, provided the math that the special effects artists turned into movie magic.



Left: Spaceship *Endurance* enters a wormhole that will transport it across the universe in a matter of minutes. Right: Astronaut Cooper (Matthew McConaughey) stands on the surface of an icy alien planet. (CREDIT: WARNER BROS.)

I és que una hora passada sobre el planeta de Miller equival a 7 anys viscuts a la Terra. I com el viatge és tot menys tranquil, ja que han de patir alguns problemes en la superfície del planeta, la visita se'ls fa més llarga del previst de manera que en tornar a la nau ja han passat 21 anys. L'alentiment gravitatori del temps és un dels resultats més sorprenents de la Relativitat General i és un fet demostrat experimentalment a la Terra. Fa uns anys, un rellotge atòmic fou situat en un avió mentre que un altre rellotge similar quedà a terra. Quan l'avió aterrà, els dos rellotges atòmics ja no estaven sincronitzats i el de terra, que sentia un potencial gravitatori més intens, havia



SOURCES: KIP THORNE, "THE SCIENCE OF INTERSTELLAR"; JAMES F. WOODWARD, "MAKING STARSHIPS AND STARGATES: THE SCIENCE OF INTERSTELLAR TRANSPORT AND ABSURDLY BENIGN WORMHOLES" NASA, JPL
<http://www.usatoday.com/story/life/movies/2014/11/03/interstellar-online-tour-endurance/18370715/>

KARL TATE / © Space.com



marcat un temps més curt.

Però les sorpreses de l'exploració del planeta de Miller no es limiten als efectes temporals de la gravitació. Els astronautes troben un món aquàtic sense terra emergida i amb ones tan grans com muntanyes. Potser això semblaria un fet fantasiós però es tracta només de mareas periòdiques causades per la proximitat del forat negre. La Terra també mostra efectes similars encara que a escales més petites quan la Lluna és capaç d'eleva periòdicament la massa oceànica atlàntica fins als quasi 17 metres registrats a la badia de Fundy en el Canadà.

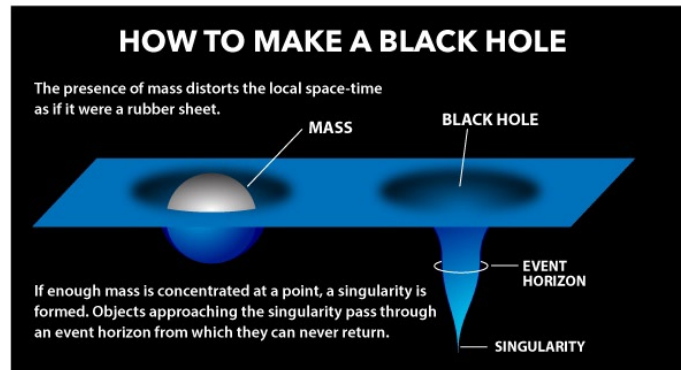
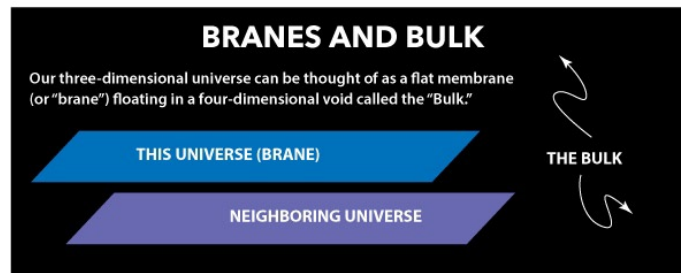
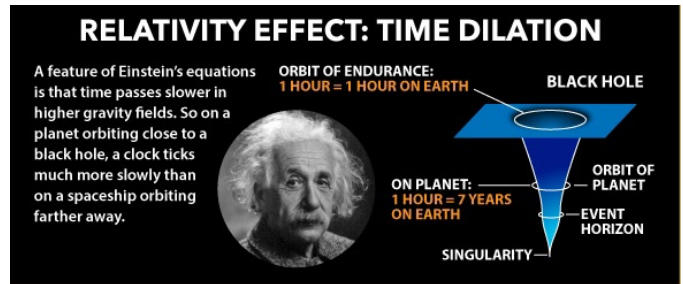
Però el que més ha sorprès l'espectador, fins i tot el que té certs coneixements d'astrofísica, ha estat els esdeveniments que ocorren en la part final de la pel·lícula i de quina manera s'han resolt. L'astronauta Cooper entra en un forat negre i no mor en l'intent i, a més a més, arriba a una immensa biblioteca, pot veure la seua filla i reviure el seu passat... Com pot ser això? Té alguna base científica?

L'horitzó d'esdeveniments o de successos és la superfície que defineix el forat negre, ja que separa causalment el seu interior (d'on res pot escapar ja que seria necessari assolir una velocitat d'escapament superior

a la velocitat de la llum) del seu exterior. Sempre hem llegit que creuar l'horitzó d'esdeveniments és mortal de necessitat per a un astronauta que s'atreveix a entrar. El gradient de marea és tan enorme que els seus peus sentrien una atracció molt més gran que el seu cap i el nostre intrèpid aventurer sofriria un procés d'espaguetització, estirant-se fins trencar-se.

Per al cas senzill d'un forat negre sense rotació, la distància a la qual es troba l'horitzó és directament proporcional a la massa del forat negre (mireu la fórmula del radi de Schwarzschild, R_s). Així que si el forat negre és de natura estel·lar, amb una massa solar posem per cas, el radi de l'horitzó és de només 3 km mentre que si el forat negre és de tipus galàctic com el que presenten moltes galàxies espirals com ara la Via Làctia, amb un

$$R_s = \frac{2Gm}{c^2}$$



milió de masses solars, la distància al que se situa l'horitzó respecte de la singularitat que representa el forat negre serà de 3 milions de quilòmetres. En aquest cas la diferència de la gravetat entre els peus i el cap del nostre

sofert astronauta seria similar a la que experimentem a la Terra. Per tant no sentiria res especial com passa a la pel·lícula.

Però és dins del forat negre on les coses són molt més estranyes. On va a parar Cooper? Que és aquest lloc amb més de 4 dimensions i on el temps pot fluir avant i arrere? L'indret rep el nom de tesseract i és predit en una de les variants de la teoria de cordes, com la de les branes de la teoria M.

El problema principal del film, tractar de trobar un planeta viable per salvar la humanitat, només es podrà resoldre si s'arriba a desenvolupar una teoria que conjugue Relativitat i Quàntica, la inaccessible, de moment, Teoria Quàntica de la Gravetat. Com s'afirma a la pel·lícula, les dades per resoldre el problema es poden trobar a l'interior dels forats negres. Murph, la filla del protagonista Cooper (interpretada per Jessica Chastain), la descobreix al final del film amb l'ajuda del seu pare.

I és que les dones tenen un gran protagonisme en Interstellar i amb professions ben qualificades. Tant la física Murph com l'astronauta Amelia Brand (interpretada per Anne Hathaway) són claus en el desenvolupament de la trama i en el seu desenllaç final.

Però no tot són flors i violes en Interstellar. Si bé la física dels forats negres és correcta, altres branques de la ciència i de la tècnica no ho són gens. He trobat greus errors en temes d'enginyeria espacial, biologia, agricultura i gravitació clàssica. Sembla que en aquestes parts no s'hi esforçaren gens. Vaig a enumerar-los:

a) Gel en el núvols del planeta de Mann

Sembla uns dels majors errors del film ja que grans blocs de gel no poden mantindre's en equilibri en l'atmosfera d'un planeta.

b) La situació del planeta de Miller sobre el disc d'acreció del forat negre.

Aquest planeta creuarà el disc d'acreció del forat negre dues vegades en cada òrbita. Per tant, la intensa radiació X del disc farà impossible que siga un planeta habitable per a la humanitat.

c) Al principi del film es parla que els insectes de la plaga van a mutar per respirar nitrogen, un gas molt més abundant a l'atmosfera terrestre i, per tant, farà impossible aturar-los. Açò és una aberració científica. Primer el procés evolutiu que s'engega per les mutacions és molt lent i, a més a més, els animals estan adaptats des de fa centenars de milions d'anys a respirar oxigen i tot el seu metabolisme està adaptat per a fer això.

d) La plaga està destrossant els camps de la Terra. De la mateixa que existeixen unes restes de l'antiga NASA capaç d'enviar una nau a les estrelles, ¿on es troben els agrònoms i biòlegs capaços d'estudiar els insectes que afecten els cultius i trobar-hi un remei?

e) Com va remarcar Pedro Duque en unencontre amb estudiants a Xàbia per parlar de la pel·lícula, ¿on es troben els dipòsits de combustible de la nau Endurance que ha de fer un viatge de dos anys a Saturn, travessar un forat de cuc, visitar dos planetes i creuar l'horitzó d'esdeveniments d'un forat negre? Tot això sense combustible?

f) ¿I com s'explica que per a eixir de la Terra es necessita un coet de tres etapes i per eixir de planetes llunyans amb gravitats majors que la terrestre siga suficient una nau d'aterratge Ranger amb motors de combustible químic i jets de plasma?

Però tranquils, malgrat tot aquests errors inexplicables, vos recomane vivament que mireu el film si encara no ho heu fet.

Aquest article ha estat possible gràcies a les converses mantingudes amb José Antonio Font Roda del Departament d'Astronomia i Astrofísica de la Universitat de València, a l'entrevista que la periodista Íngrid Lafita li va fer per a la revista Mètode i per la xarrada que l'astronauta Pedro Duque realitzà a Xàbia amb estudiants el gener 2015.

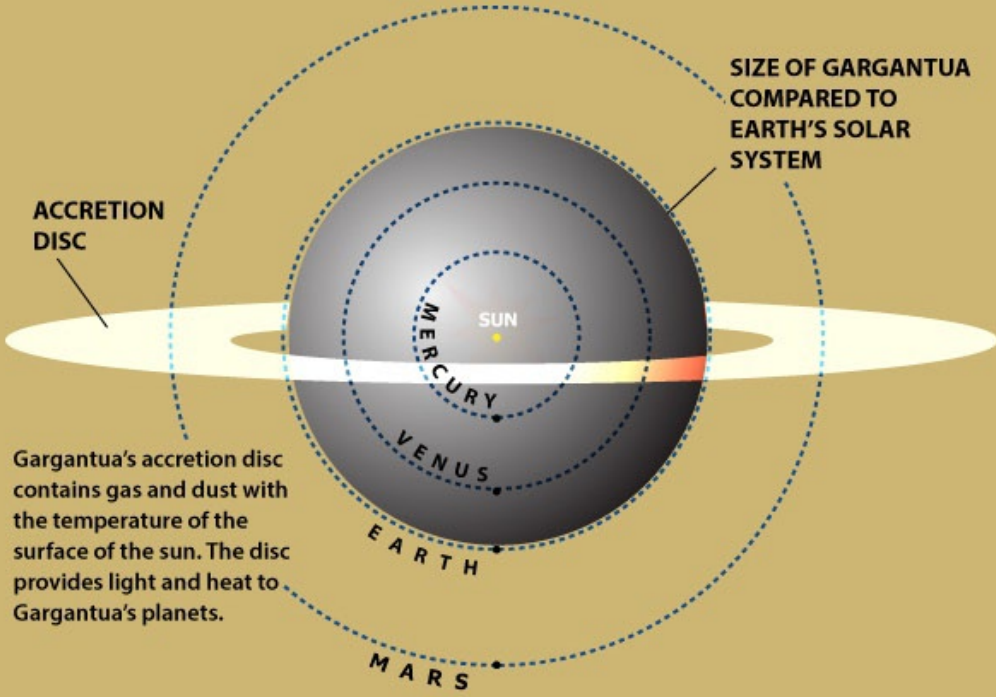
Bibliografia:

Íngrid Lafita entrevista José Antonio Font Roda per a Mètode: «Interstellar»: ciència i llicències.

SUPERMASSIVE BLACK HOLE: GARGANTUA

A PLANET ORBITS CLOSE TO GARGANTUA IN "INTERSTELLAR" (CREDIT: WARNER BROS.)

The spaceship Endurance's destination is Gargantua, a fictional supermassive black hole with a mass 100 million times that of the sun. It lies 10 billion light-years from Earth and is orbited by several planets. Gargantua rotates at an astounding 99.8 percent of the speed of light.




ACCRETION DISC

Gargantua's accretion disc contains gas and dust with the temperature of the surface of the sun. The disc provides light and heat to Gargantua's planets.

SIZE OF GARGANTUA COMPARED TO EARTH'S SOLAR SYSTEM

SUN
MERCURY
VENUS
EARTH
MARS



The black hole's complex appearance in the film is due to the image of the accretion disc being warped by gravitational lensing into two images: one looping over the black hole and the other under it. (CREDIT: DOUBLE NEGATIVE VISUAL EFFECTS, WARNER BROS.)