

LES FORCES DE L'UNIVERS (DE LA FÍSICA TEÒRICA A LA CIÈNCIA FICCIÓ)

Rafael Pla López
Llicenciat en Física i doctor en Matemàtiques

LA UNIFICACIÓ DE LES FORCES DE LA NATURA

En l'antiguitat ja es coneixien fenòmens que actualment atribuïm a les forces gravitatòria o electromagnètica. Però en absència de teories globals que els explicara, cadascú d'aquests fenòmens s'atribuïa a causes particulars, en molts casos a l'actuació de deus diferents. I va ser amb el neixement de la ciència moderna que es va emprendre un procés d'unificació de les causes en el marc de teories cada vegada més generals.

Abans que Newton formulara la Teoria de la Gravitació Universal, es considerava que el moviment dels cosos en la Terra obeïa a causes diferents a les del moviment dels cosos celestes. Així, en la Terra es considerava que la caiguda dels cosos per la gravetat terrestre era un moviment "natural" que no tenia res a veure amb el moviment de la Lluna, del Sol o de les estrelles.

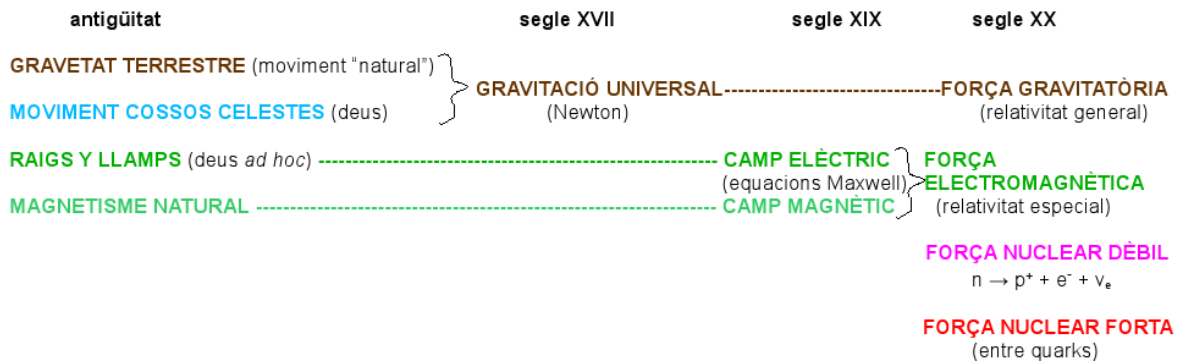
Per això, allò important de l'anècdota de Newton preguntant-se perquè la poma cau del poma i en canvi la Lluna no cau sobre la Terra és la mateixa possibilitat de la pregunta, que suposava qüestionar la concepció clàssica de la separació entre el món infralunar i el món supralunar. A partir del trencament conceptual d'aquesta separació és com Newton va arribar en el segle XVII a elaborar la seua teoria de la gravitació que explicaria uns i altres d'aquests moviments.

Per la seua banda, els fenòmens elèctrics i magnètics es van considerar separats fins al segle XIX, quan Maxwell va elaborar les seues equacions que tractaven conjuntament i relacionaven aquests fenòmens. Tanmateix, en el marc de la seua teoria les forces elèctriques i les forces magnètiques es consideraven forces diferents en si, encara les seues variacions estigueren relacionades.

No va ser fins a l'elaboració per Einstein de la seua Teoria de la Relativitat Especial, al principi del segle XX, que es va arribar a considerar que les forces elèctriques i magnètiques eren en realitat una única força, en tant que la força magnètica apareixia a l'aplicar a un cos amb càrrega elèctrica en moviment les anomenades transformacions de Lorentz que relacionaven l'espai i el temps en dos sistemes de referència diferents cadascú dels quals es trobava en moviment relatiu respecte de l'altre. És a dir, l'efecte del que s'havia anomenat força magnètica no era sinó el resultat de la correcció dels efectes de la força

elèctrica generada per un cos degut al moviment del mateix. Per això, a partir d'aleshores es va parlar ja de força electromagnètica com quelcom unificat.

La força gravitatòria, per la seua banda, era tractada per la Teoria de la Relativitat General, que considerava no únicament sistemes de referència amb velocitat relativa uniforme, sinó sistemes accelerats per la força de la gravetat.



Però al llarg del segle XX, en el marc del desenvolupament de la Mecànica Cuàntica, es van començar a estudiar fenòmens nous, desconeguts en l'antiguitat, del que es va anomenar Radioactivitat. Aquests fenòmens es van anomenar fenòmens Nuclears, en tant que afectaven a canvis en els núclis dels àtoms, a diferència dels fenòmens electromagnètics que afectarien a la escorça dels àtoms formada per **electrons** orbitant al voltant del nucli.

Però es va trobar que hi havia dues tipus diferents de forces nuclears: l'anomenada Força Nuclear Débil i l'anomenada Força Nuclear Forta.

La Força Nuclear Débil era la responsable de que els **neutrons**, partícules elèctricament neutres existents en els nuclis atòmics, es desintegraren en un **protó** amb càrrega positiva i un **electró** amb càrrega negativa, a més d'una nova partícula singular, sense càrrega i amb massa imperceptible, a la qual es va anomenar **neutrino**.

Per la seua banda, la Força Nuclear Forta era la responsable de que els anomenats **quarks**, partícules encara més "elementals" de les quals estaven composts neutrons i protons, es mantingueren unides per a formar aquests.

Així, s'arriba al final del segle XX considerant que hi ha 4 forces fonamentals: la Força Nuclear Forta, la Força Nuclear Débil, la Força Electromagnètica i la Força Gravitatòria, les propietats de les quals es descriuen en la quadre següent.

Tabla comparativa

Interacció	Teoria descriptiva	Mediadors	Fuerza relativa	Comportamiento con la distancia (r)	Alcance (m)
Fuerte	Cromodinámica cuántica (QCD)	gluons	10^{38}	$\frac{e^{-\frac{r}{R}}}{r^2}$	10^{-15}
Electromagnética	Electrodinámica cuántica (QED)	fotons	10^{36}	$\frac{1}{r^2}$	∞
Débil	Teoría electrodébil	bosones W y Z	10^{25}	$\frac{e^{-m_{W,Z}r}}{r^2}$	10^{-18}
Gravitatoria	Gravedad cuántica	gravitons (hipotéticos)	1	$\frac{1}{r^2}$	∞

La Teoria Cuàntica suposa que cadascuna d'aquestes quatre forces s'expressa a través de diferents interaccions entre partícules, interaccions que es realitzarien a través d'altres partícules mitjanceres. Així, els **fotons** que formen la radiació electromagnètica serien les mitjanceres de la interacció electromagnètica. La interacció nuclear forta seria mitjançada pels **gluons**, anomenats així perquè mantindrien "pegats" als quarks per a formar protons i neutrons. I la interacció nuclear débil seria mitjançada per unes partícules especials, els **bosons** anomenats W i Z. Per la seua banda, la interacció gravitatòria hauria de ser mitjançada per unes partícules hipotètiques a les quals es va anomenar **gravitons**, però les quals no s'han trobat enlloc.

Per la seua banda, les interaccions electromagnètica i gravitatòria tindrien en principi un abast infinit, disminuint, això sí, de forma inversament proporcional al quadrat de la distància, tal com descriuen tant la Llei de la Gravitació Universal de Newton com la Llei de Coulomb entre partícules amb càrrega elèctrica. En canvi, les interaccions nuclears disminuirien exponencialment amb la distància, el qual fa que siguin imperceptibles a distàncies major a la grandària dels nuclis atòmics.

A partir d'aquesta descripció de les quatre forces fonamentals, els Físics Teòrics van començar a cercar la forma d'unificar-les, unificació que en principi es produiria a mesura que s'augmentés l'energia de les interaccions.

Prompte es va arribar a la unificació de la Força Electromagnètica i la Força Nuclear Débil, que la Física Teòrica considera així que són manifestacions del que anomenen Força Electrodèbil.

També s'han desenvolupat teories anomenades de Gran Unificació que unien a altes energies la Força Electrodèbil i la Força Nuclear Forta, teories que consideren que a cada partícula li correspondria una partícula anomenada supersimètrica de gran massa, la qual per això solament es podria generar amb xocs de partícules a gran velocitat, i així amb molta energia involucrada.

Molt més esquiva, en canvi, ha estat la unificació d'aquestes forces amb la Força Gravitatòria, el que constituiria el que s'anomena Teoria del Tot, la qual en principi hauria de poder explicar tot tipus d'interaccions i fenòmens físics.

Per això, la relació entre la Força Gravitatòria i les Forces Nuclears es considerava a final del segle XX el principal enigma per a explicar l'evolució de l'Univers.



EXPANSIÓ DE L'UNIVERS: EL BIG BANG

Era conegut des de feia temps l'anomenat Efecte Doppler, consistent en que si un observador es mou en el sentit de propagació d'una ona tarda més en crear els pics d'aquesta ona, per la qual aquesta s'apercep amb menor freqüència que si es mou en sentit contrari al de la propagació de l'ona, com s'il·lustra en la figura següent:



Això és el que explica, en particular, que es xiulet d'un tren quan arriba a una estació sone més agut que quan s'en va.

I en tant que la llum es propaga amb ones electromagnètiques, l'efecte Doppler ens permet calcular també la velocitat amb la que es mou un focus llunyà de llum. La manera de fer aquest càlcul és diferent si s'apliquen les equacions d'addició de velocitats de la Teoria de la Relativitat, però en qualsevol cas ens permet evaluar la velocitat relativa de les estrelles i les galàxies respecte a la Terra o el Sistema Solar.

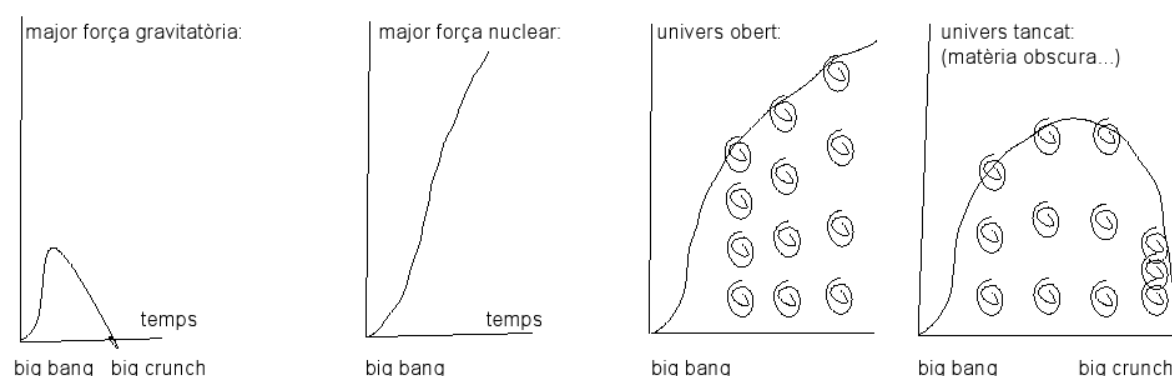
A tal efecte, s'analitzen les ratlles de l'espectre en les quals la llum rebuda es descomposa per refracció. Com es coneix la posició que haurien de tenir aquestes ratlles per a la llum emesa pels diferents elements químics que generen la radiació, el corriment de les ratlles de l'espectre ens indica la velocitat de cada focus de llum respecte a l'observador.

Doncs be: el corriment de les ratlles de l'espectre de la llum que prové d'altres galàxies demostra que totes elles s'allunyen de nosaltres, i per tant es pot deduir que l'univers s'està expandint. I es pot inferir per tant que en un passat llunyà totes les galàxies, en definitiva tota la matèria de l'Univers, estarien juntes.

Sabent que la Força Gravitatòria tendeix a apropar els cossos entre si, s'entén que l'expansió de l'Univers ha de provenir d'una situació en la qual la matèria estaria tan comprimida que predominaria la Força Nuclear, produint una Gran Explosió... el Big Bang que generaria aquesta expansió, expansió que seria després frenada per la Força Gravitatòria.

EL PRINCIPI ANTRÒPIC:

Ara bé, les constants d'interacció gravitatòria i nuclear forta han d'estar "ajustades" molt finament per tal que s'hagen arribat a formar galàxies, planetes... i essers humans.



Si la constant de la gravitació universal fora un poc major, aleshores l'evolució de l'Univers es correspondria a la primera figura: la força de gravetat hauria frenat tempranament l'expansió, i tota la matèria s'hauria juntat de nou, col·lapsant en el que es podria anomenar un Big Crunch. En aquestes condicions, no s'haurien arribat a formar les galàxies, ni planetes que pogueren albergar vida intel·ligent.

Pel contrari, si el que fora un poc major fora la constant d'interacció nuclear forta, l'evolució de l'Univers es correspondria a la segona figura: l'impuls de l'expansió de l'Univers arran del Big Bang no hauria pogut estar compensada a temps per la força gravitatòria i tota la matèria s'hauria dispersat sense condensar-se formant galàxies, i per tant tampoc podrien haver arribat a existir planetes amb vida intel·ligent.

Sabem, clar, que la proporció justa existent entre les constants gravitatòria i d'interacció nuclear forta ha permès que la força gravitatòria condensara la matèria en galàxies mentre continuava l'expansió de l'Univers.

I en aquestes condicions els cosmòlegs de finals del segle XX es preguntaven si la desaceleració gravitatòria de l'expansió la frenaria totalment començant una fase de contracció que eventualment conduiria a un Big Crunch, en el que

s'anomenava un Univers Tancat corresponent a la quarta figura, o pel contrari l'expansió continuaria indefinidament encara que cada vegada més lenta, en el que s'anomenaria un Univers Obert.

El que l'Univers fora Tancat o Obert dependria de la massa total de l'Univers: si aquesta fora superior a una massa crítica, l'Univers seria Tancat. En cas contrari, seria Obert.

Doncs bé, es va calcular que el total de la massa "visible" de les galaxias era netament inferior a la massa crítica. Ara bé, també es va observar que el moviment de les estrelles i les galàxies revelava l'existència d'una força gravitatòria superior a la generada per la matèria visible, i que s'atribuïa al que es va anomenar **matèria obscura**. Aquesta matèria estaria formada per partícules que no resultarien afectades per la interacció electromagnètica, i per això no eren visibles, però sí per la interacció gravitatòria, raó per la qual la seua existència es podia deduir pels efectes d'aquesta. I de la natura i magnitud de la matèria obscura dependria que l'Univers fora Obert o Tancat.

Però si el destí final de l'Univers roman una incògnita, el que sí estava clar era que les constants gravitatòria i d'interacció nuclear forta estaven en una proporció tal que havia fet possible arribar a la situació actual, amb galàxies que contenen estrelles al voltant de les quals giraven planetes sobre algú dels quals, com la Terra, existia vida intel·ligent.

De manera que, des d'un punt de vista cosmològic, el *Cogito* cartesià adquiriria un nou significat. Caldria dir "*Pense, per tant la proporció entre les constants gravitatòria i d'interacció nuclear forta ha de ser tal que permeti l'existència de vida intel·ligent com la nostra*". Això és el que s'anomena **principi antròpic**, el fet de que les constants naturals realment existents han de haver fet possible l'existència de l'esser humà.

Cal subratllar que, com en el *Cogito* cartesià, això suposa una implicació lògica, no ontològica. És a dir, no es pot concloure que l'existència de l'esser humà siga la causa o l'explicació de l'esmentada proporció entre les referides constants.

Però això no lleva que el principi antròpic ens porte a demanar-nos per què existim, per què les constants de gravitació i d'interacció nuclear forta estan precisament en la proporció que ha fet possible la nostra existència.

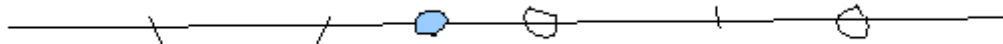
Aquesta pregunta admet diferents respostes:

1. Existeix un demiürg que ha ajustat finament la força gravitatòria i la força nuclear per tal que haja pogut arribar a existir l'esser humà. Aquesta explicació religiosa, que suposaria un "disseny intel·ligent" cosmològic,

resol certament el problema, al temps que inhibeix la investigació científica al respecte.

2. Existeixen infinits universos paral·lels amb diferents valors de les constants gravitatòria i nuclear forta. I solament en alguns universos la seua proporció fa possible l'existència de vida intel·ligent. Però, naturalment, solament en aquests pot haver essers que es facen aquestes preguntes.
3. Hi ha una "Teoria del Tot" que, a l'unificar les forces gravitatòria i electronuclear, explica la relació existent entre les constants de la seua interacció. Científics com Stephen Hawking cerquen insistentment aquesta Teoria. I cal dir que el seu ateisme li dóna una motivació addicional per aquesta cerca, per tal d'eludir el recurs a l'explicació per una intervenció divina. En efecte, l'explicació del principi antròpic sembla una darrera frontera de la ciència. Si la teoria darwinista podia explicar l'origen de l'esser humà a través de l'evolució de les espècies, i la teoria del Big Bang pot explicar l'origen de l'Univers a partir d'ell, solament una tal Teoria del Tot podria connectar ambdues orígens, explicant com s'arriba des del Big Bang a l'evolució de la vida que porta als essers humans.

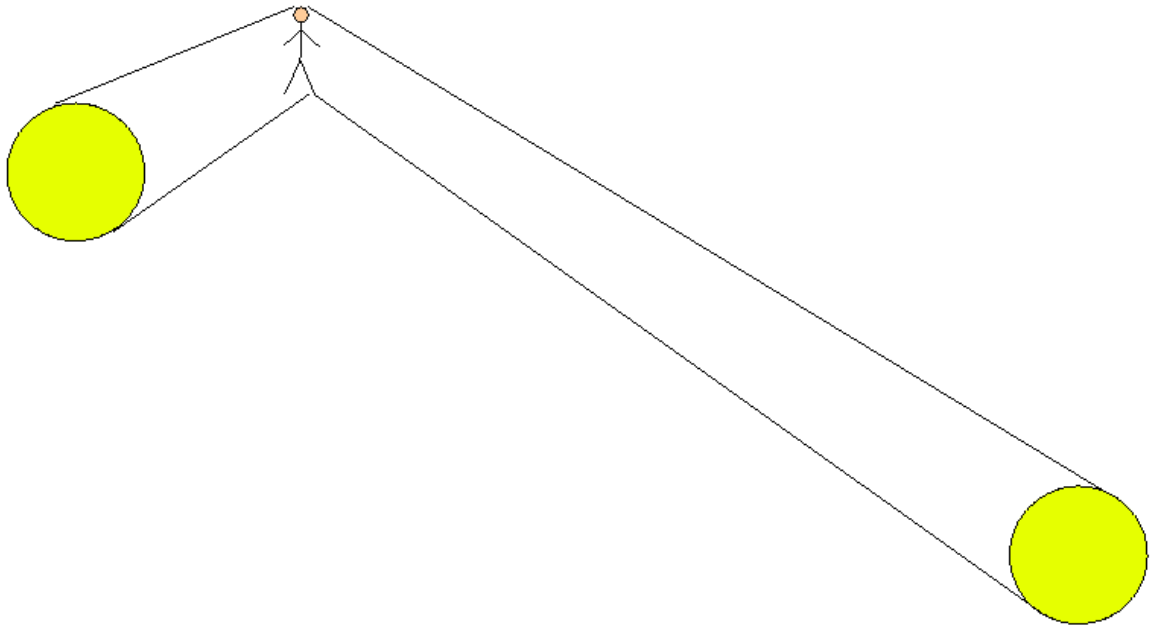
Però actualment no existeix cap "Teoria del Tot" satisfactòria. Hi ha, certament, candidats per a la mateixa, como l'anomenada Teoria M de **Supercordes**. Aquestes no són, com algú podria pensar, cordes molt grans, sinó pel contrari "cordes" molt petites esteses en dimensions addicionals a les 3 a les que estem acostumats (fins a 11 dimensions). És a dir, l'apel·latiu "super" no fa referència a la grandària sinó a les dimensions. I les diferents partícules i forces correspondrien als diferents modes de vibrar de tals supercordes.



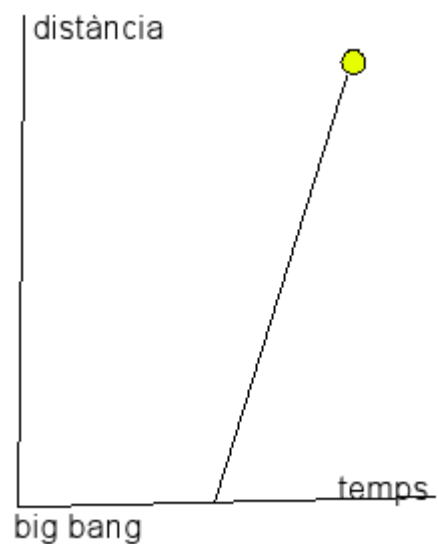
Però tal Teoria de Supercordes requereix la introducció d'un gran nombre de paràmetres que caldria ajustar a la seua vegada, cosa que no fa més que desplaçar el problema de l'ajust de les constants anteriorment referides. I si el principi metodològic de la navalla d'Occam requeria no multiplicar els ens sense necessitat, també podria implicar no multiplicar les dimensions sense necessitat...

Però en arribar el **segle XXI** l'observació cosmològica va trobar uns resultats inesperats.

Es coneixia que es pot mesurar la distància a una estrella a partir de la seua **brillantor** (la llum que ens arriba de la mateixa) si es coneix la seua **luminositat** intrínseca (la llum que emet): com es mostra en la figura següent, quan més lluny estem de d'una estrella rebrem una fracció menor de la llum emesa per ella.

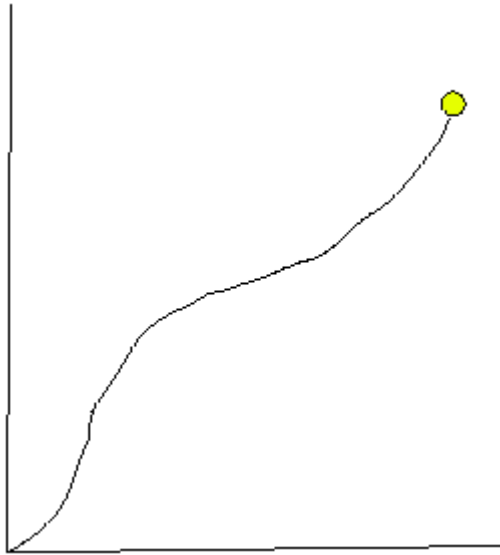


Doncs be: es coneix amb precisió la lluminositat de les supernoves de tipus 1a (en el llindar de la massa necessària per convertir-se en supernova), cosa que ens permet calcular la distància a la qual es troben. I calculant per l'efecte Doppler la velocitat amb la qual s'allunyen es va arribar a la sorprenent conclusió que, a aquesta velocitat des del Big Bang, haurien de trobar-se prou més lluny... o l'origen de la seua expansió hauria de ser posterior a la data estimada del Big Bang, tal com s'indica en la figura. I suposant que la seua velocitat d'expansió hagués disminuït per l'atracció gravitatòria, aleshores en el passat haurien d'haver tingut una velocitat major, amb el qual s'haurien de trobar encara més lluny.



FORÇA INFLACIONÀRIA: L'ENERGIA OBSCURA:

L'única explicació per fer compatible aquestes observacions amb el conjunt de la teoria estàndard al voltant del Big Bang es que la seua velocitat ha augmentat enlloc de disminuir, tal com es representa en la figura següent, i que per tant l'expansió de l'Univers s'accelera enlloc de frenar-se.



Però aquesta acceleració no es pot explicar pel simple joc de les forces gravitatòries (a llarga distància) i nuclears (a curta distància).

Caldria reintroduir la **constant cosmològica** descartada per Einstein en adonar-se que l'Univers no es estable? (l'havia introduït en les seues equacions cosmològiques per compensar l'atracció gravitatòria, però en adonar-se que l'Univers s'expandia va considerar que havia estat la seua major errada).

Sembla, en fi, haver una **força repulsiva** que solament tindria efectes detectables a distàncies intergalàctiques. Es a dir, que a diferència de les interaccions gravitatòria, electromagnètica i nuclears, augmentaria amb la distància. Això es el que s'anomena **energia obscura...** o **quinta essència**, per tractar-se d'una cinquena força fonamental que s'afegiria a les forces gravitatòria, electromagnètica, nuclear dèbil i nuclear forta.

De manera que encara que es trobés la "Teoria del Tot" que unifiqués les interaccions gravitatòria i electronuclear, encara faltaria unificar l'energia obscura...

Però amb això ja ens trobem clarament, avui per avui, dins de la **Ciència Ficció**. I pot donar lloc a especulacions de què podria fer la humanitat en un futur llunyà si arribés no solament a entendre sinó a actuar de forma unificada sobre el conjunt de les forces de l'Univers. Es podrien construir gravitonaus que navegaren sobre les ones gravitatòries com els vaixells naveguen sobre les ones del mar? Es podria modificar la trajectòria dels cossos celestes? Es podria tornar a encendre estrelles moribundes? Es podrien fabricar quàsars precipitant estrelles en un forat negre? Es podria arribar a desplaçar una galàxia? Podem deixar volar la imaginació, però totes aquestes coses no ens resulten més estranyes a nosaltres que la tecnologia actual resultaria per als éssers humans de l'antiguitat. Algunes d'estes coses s'explorarien en el possible desenvolupament futur de la meua sèrie de Ciència Ficció "**Saga de la Tierra errante**", de la qual es pot trobar el primer llibre, "**Captura**", en

<http://alteritat.net/tierraerrante/captura.htm>