

FÍSICA, METAFÍSICA E ECONOMÍA

ARMESTO RAMÓN, CONSTANTINO

constantinoarmesto@edu.xunta.es

Resumo

Despois de facer unha defensa da ciencia como único método para adquirir coñecemento certo da natureza e de argumentar que a crítica é requisito imprescindible para a boa ciencia; faise unha crítica da física de altas enerxías actual desde dous aspectos: o teórico e o experimental. Con respecto ao primeiro, criticáanse as teorías de cordas porque non existen probas experimentais que as abalen; con respecto ao segundo alégase que, se o diñeiro -obrigatoriamente limitado- destinado á investigación invístese en novos superaceleradores de partículas, cada vez máis xigantescos e caros, outros proxectos científicos quedan sen recursos financeiros.

Palabras clave: crítica, cordas, experimentación, financiamento, superaceleradores.

1. Introducción. Como adquirir coñecemento certo?

1.1. A ciencia responde á necesidade humana de coñecemento certo

Se a humanidade quere mellorar o grao de benestar e manter a civilización necesita coñecementos sobre a natureza. Como conseguilos é un problema esencial; os helenos deron o primeiro paso cando prescindiron dos mitos e apuntaron á razón como instrumento. O seguinte paso, dous mil anos despois, deuse en Europa: a combinación da razón coa experimentación e observación en mans de Galileo, Newton e os seus sucesores trouxo os métodos científicos de adquirir coñecemento. Desde entón comprobamos que a ciencia é a mellor e única opción para adquirir coñecemento certo sobre a natureza. Que sucedeu para que, no século XXI, sectores crecentes da sociedade occidental perdesen confianza na ciencia?

1.2. Crítica sen fundamentos da ciencia

No século XXI chegamos a un punto, onde se cuestiona non só a ciencia, senón a realidade. Para unha parte da cidadanía non importa a realidade nin a verdade só interesa a fe, as crenzas, a aparencia. Aínda que sempre houbo quen cuestionou a realidade e a verdade, nas sociedades abertas poucas veces como agora; en EEUU, en España observamos que a mentira abunda, tanto entre as elites dirixentes como nas redes sociais e en moitos medios de comunicación. Fraguouse un ataque á

ciencia? Un millón de defensores do coñecemento baseado en probas consideráronse o bastante ameazados como para participar na Marcha pola Ciencia celebrada no ano 2017 en todo o mundo. É certo que informacións falsas contribuíron a xerar desconfianza na ciencia. Algúns exemplos. Non se demostrou que o cambio climático xerárono as actividades humanas: falso. Non se demostrou que as vacinas salvan vidas: falso. Non se demostrou que o tabaco, o alcol ou a marihuana prexudican á saúde: falso. Non se demostrou que algúns compoñentes dos plásticos prexudican a saúde: falso.

1.3. Crítica con fundamentos da ciencia

A ciencia, por natureza, é autocrítica e os científicos debemos practicala. Non esquezamos que a ciencia se revisa continuamente; por suposto, hai coñecementos que ninguén discute, pero coidado con ter fe na ciencia porque iso perverte o seu sentido. Resulta paradoxal que rexeitásemos os dogmas relixiosos para aceptar outras dogmas presuntamente científicos; porque as evidencias científicas son cuestionables e os científicos equivócanse moitas veces e en moitas cuestións hai opinións diversas. Comprobámolo na pandemia do coronavirus: case cada equipo de epidemiólogos actuou de forma diferente. Tampouco debemos esquecer que os científicos colaboramos en moitos abusos (Guillem Llobat, Ximo, 2021); porque non só contribuímos a desestabilizar o ecosistema global (Harari, Yuval N., 2020), preguntémonos quen inventou as armas químicas, quen as armas atómicas ou quen as armas biolóxicas.

A ciencia debe afrontar os seus defectos para deter os ataques; porque podemos facelo mellor. Cada vez existen máis indicios de que algúns métodos que usamos para realizar, avaliar e comunicar a investigación son ineficientes. Puido lerse en *Lancet* (Ioannidis, John, 2018) que o oitenta e cinco por cento do investimento en biomedicina acaba malgastándose (e non só nesta disciplina). Sinalemos outros problemas: a maioría do diñeiro para a investigación acaba en poucos científicos; non se recompensa a transparencia (especialmente en psicoloxía, economía e oncoloxía); algunhas liñas de investigación dispoñen de máis diñeiro que outras exclusivamente debido á tradición; non se financian as ideas arriscadas. Comprobouse en ciencias biomédicas que moitísimos estudos non son reproducibles (Palus, Shannon, 2018); saltou o escándalo en 2012, cando Glenn Begly descubriu que en nove de cada dez casos era incapaz de reproducir os resultados biomédicos. Doutra banda, sabemos que hai grupos e individuos que están interesados en modelar as crenzas sociais, incluso as relacionadas coa ciencia; as súas estratexias son sutís e efectivas: criban os argumentos para presentar unicamente as probas que apoian determinadas teses (Worthy, Graham and Yetrebsky, Cherie, 2018). Aínda máis os cidadáns queren ver estudos académicos baseados nos problemas sociais que lles afectan (O'Connor, Cailin e Weatherall, James Owen, 2019). Por iso esteamos a fusionar a investigación académica pura coa aplicada a fin de centrarnos nas cuestións inmediatas (como axudar a unha cidade para recuperarse dun furacán) e a longo prazo (como aconsellar a unha comunidade para protexerse das inundacións). Se nos dedicamos a escoitar e responder as preocupacións da cidadanía, defenderemos mellor que as decisións con fundamentos científicos son efectivas a longo prazo. Faise isto a miúdo ou máis ben constitúe unha excepción?

1.4. Crítica da física contemporánea de altas enerxías

É posible que a física contemporánea de altas enerxías estea encamiñada por unha senda equivocada? Como o avance do coñecemento chega por dúas vías: co desenvolvemento de novos instrumentos ou coa introdución de novas teorías; pretendo comentar algúns tópicos da física de altas enerxías do século XXI desde os dous puntos de vista: o teórico e o experimental.

2. Física teórica: teorías de cordas

Na actualidade hai dúas teorías físicas necesarias para explicar o mundo: a relatividade e a cuántica; e ambas son contraditorias. Na súa procura da unidade os físicos teóricos trataron de harmonizar ámbalas dúas teorías, sen ningún éxito ata o de agora. A candidata máis popular, a seguida maioritariamente polos físicos, para unha teoría unificada é unha teoría de cordas; desde as dúas últimas décadas do século pasado, as teorías de cordas convertéronse no paradigma dominante da física teórica de altas enerxías. O problema é que as teorías de cordas nada predín que poida comprobarse nos laboratorios. Recoñezamos que a ciencia é controvertida e que o que hoxe defende pode rebatelo mañá; sucedeu cos xeosinclinais en xeoloxía, co floxisto en química, co xeocentrismo en astronomía, co éter en física ou coa xeración espontánea en microbioloxía. Estaremos no mesmo caso?

Son tan duros os cualificativos que empregan os detractores das cordas, entre os que se atopan os físicos premiados co Nobel, Richard Feynman, Sheldon Glashow, Roger Penrose e Julian Schwinger, que aforro cualificativos e limítome a copiar os seus comentarios:



Sheldon Glashow

Sheldon Glashow e Paul Ginsparg (Paul Ginsparg, Sheldon Glashow, 1986): “En principio a teoría de supercordas ordena que partículas existen e que propiedades teñen, sen parámetros arbitrarios ou axustables. A mala noticia é que decenas de anos de intenso esforzo dos mellores e máis brillantes físicos non lanzaron nin unha predición verificable, nin ningunha espérase pronto... En lugar da tradicional confrontación entre teoría e experimento, os teóricos de supercordas perseguen unha harmonía interior onde a elegancia, a singularidade e a beleza definen a verdade... Por primeira vez desde a Idade Media, podemos ver como nosa nobre procura pode terminar, coa fe substituíndo á ciencia unha vez máis.”

Sheldon Glashow (Kragh, Helge, 2007): “Ata que os partidarios das cordas non interpreten as propiedades percibidas do mundo real, simplemente non están a facer física”. “Deberían pagarlles as universidades e permitirles perverter a estudantes impresionábeis?”. “Non son as teorías sobre cordas máis adecuadas nos departamentos de matemáticas ou mesmo en seminarios de teoloxía que en departamentos de física?”.

Richard Feynman (John H. Schwarz Harold, 2018): “Agora son un ancián, e estas son ideas novas [supercordas], e parécenme tolas, e parece que están no camiño equivocado... sería moi parvo se dixese que isto é unha bobada. Vou ser moi parvo, porque teño a firme convicción de que isto é unha bobada! Non podo evitalo”.

Roger Penrose (Susan Kruglinski and Oliver Chanarin, 2006): “...a teoría de cordas non ten soporte experimental”.

Peter Woit (Woit, Peter, 2002): “Durante case dezasete anos, a maior parte do traballo matemático e especulativo na teoría de partículas centrouse na idea de substituír a teoría de campos cuánticos con algo que adoitaba coñecerse como “teoría de supercordas”... este ano quizais chegase o

momento de comezar a avaliar o éxito ou o fracaso desta nova forma de pensar sobre as partículas físicas". "A teoría tivo un éxito espectacular nunha fronte, o das relacións públicas. Os libros e sitios web máis vendidos están dedicados a explicar o tema á audiencia máis ampla posible... Ata que xurda unha predición comprobable (ou mesmo unha definición convincente e consistente) da teoría de cordas, os teóricos deben recoñecer publicamente os problemas aos que se enfronta a física teórica de partículas, e deben cesar e desistir das actividades deseñadas para vender a teoría de cordas a mozos impresionábeis, xornalistas de divulgación científica e axencias de financiamento". "Ninguén logrou extraer ningún tipo de predición experimental... Polo momento, é unha teoría que non pode ser refutada por ningún resultado experimental imaxinable".

Lee Smolin (Smolin, Lee, 2007): Se os teóricos de cordas equivócanse, non poden equivocarse só un pouco. Se as novas dimensións e as simetrías non existen, consideraremos aos teóricos de cordas uns dos maiores fracasados da ciencia (...). A súa historia constituirá unha lenda moral de como non facer ciencia, de como non permitir que se excedan tanto os límites, ata o punto de converter a conxectura teórica en fantasía.

Mario Bunge (Bunge, Mario, 2006): A beleza ou a consistencia matemática non é suficiente na investigación científica. As teorías de cordas parecen científicas porque pretenden construír unha teoría cuántica da gravitación; pero, debido a que se resistiron á confirmación experimental durante máis de tres décadas, parecen ciencia errada e, como discrepan do conxunto da física e violan o requirimento de falseamento, poden cualificarse de pseudocientíficas.

Sabine Hossenfelder (Hossenfelder, Sabine 2017): Este enfoque sempre me pareceu perturbador: é imposible construír unha teoría científica [gravidade cuántica] partindo exclusivamente da súa verosimilitude matemática... unha teoría que non establece relación algunha coas observacións non merece, na miña opinión, chamarse científica.

Nada máis podo engadir, excepto talvez unha anécdota: o resumo dunha proveitosa charla de dúas horas que o autor tivo cun experto físico do Instituto Max Planck de física de partículas: ignora se as teorías de cordas representan a realidade, pero resúltanlle útiles para facer cálculos.

3. Física teórica: alternativas

Calquera pode comprobar que existen teorías que tratan de harmonizar a gravidade coa cuántica distintas ás teorías de cordas, e capaces de ser verificadas mediante medidas experimentais (Hossenfelder, Sabine, 2017).

Pero hai outras fronteiras da física que merecen ser atendidas.

Freeman Dyson (Dyson, Freeman, 2008): "A ciencia ten tres fronteiras que se desprazan, pero que permanecerán sempre abertas. Está a fronteira matemática, que permanecerá sempre aberta grazas a Gödel. Está a fronteira da complexidade, que permanecerá sempre aberta porque estamos a investigar obxectos de complexidade cada vez maior: moléculas, células, animais, cerebros, seres humanos, sociedades. E está a fronteira xeográfica, que permanecerá sempre aberta porque o noso universo inexplorado está a se expandir no espazo e no tempo".



Freeman Dyson. Credit: Jacob Appelbaum

Comentarei brevemente a fronteira da complexidade, para moitos ignorada. Albert Einstein realizou contribucións fundamentais a dúas fronteiras da ciencia do século XX: a teoría da relatividade axudounos a entender o universo a gran tamaño e a súa hipótese sobre a luz iniciou o camiño para comprender o diminuto mundo dos fenómenos cuánticos. Entre ambas escalas existe unha zona intermedia, na que se sitúan os sistemas complexos, tales como os fenómenos biolóxicos ou o procesamento da información no cerebro, tamén as transicións de fase, os fenómenos fóra de equilibrio, a autoorganización, a formación de patróns e os sistemas heteroxéneos; do seu estudo emerxeu unha nova física, a complexidade (Miguel A. F. Sanjuán, 2007), que se desenvolveu dunha maneira espectacular no século XXI; o premio Nobel de física 2021 outorgouse a Syukuru Manabe, Klaus Hasselmann e Giorgio Parisi “polas súas contribucións pioneiras ao noso entendemento dos sistemas físicos complexos”. Cabe pensar que, se Einstein vivise hoxe, tamén exploraría esta nova fronteira do coñecemento, un tema que xa tratara na súa investigación sobre o movemento browniano, as flutuacións ou a opalescencia.

Philip W. Anderson (Philip W. Anderson, 1995), premio Nobel de física en 1977: “Outro gran número [de físicos] dedícanse a outro tipo de investigación fundamental: a investigación de fenómenos que son demasiado complexos para ser analizados de modo sinxelo por simple aplicación das leis fundamentais. Estes físicos están a traballar nunha nova fronteira entre o misterioso e o coñecido: a fronteira da complexidade. Nesta fronteira, a consigna non é o reduccionismo, senón a emerxencia. Os fenómenos complexos emerxentes baixo ningún concepto violan as leis microscópicas, con todo non aparecen como consecuencias lóxicas destas leis.” “A tarefa central da física teórica do noso tempo xa non é escribir as ecuacións últimas, senón máis ben catalogar e entender o comportamento emerxente nas súas moitas formas, incluíndo potencialmente á mesma vida”. Que é a fundamental idea da emerxencia? O xurdimento de propiedades que proveñen da dinámica colectiva dos compoñentes dun sistema: estruturas, patróns ou características novas que xorden durante o proceso de autoorganización; como poden ser os fenómenos físicos da superfluidez e supercondutividade. En resumo, un sistema complexo exhibe un comportamento que ningún dos seus compoñentes posúe ou, dito con sinxelas palabras, que o todo é máis que a suma das súas partes. O tempo atmosférico, os terremotos, os volcáns, os ecosistemas, os seres vivos, a conciencia, as sociedades e as cidades son sistemas complexos.

4. Física experimental. Xigantismo do proxecto de construción do sucesor do LHC

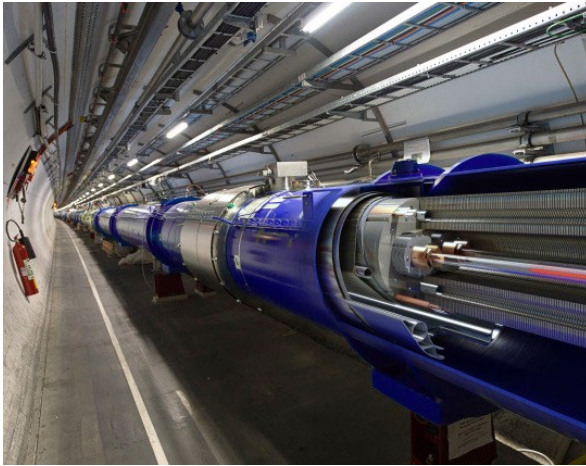
A Organización Europea para a Investigación Nuclear (CERN) presentou o proxecto do sucesor do Gran Colisionador de Hadróns (LHC); o novo superacelerador, alcumado Futuro Colisionador Circular (FCC), que podería alcanzar enerxías de cen TeV, custaría entre 9000 e 21000 millóns de euros (Davide Castelvecchi, 2019). E está en lista de espera o Colisionador Lineal Internacional (8500 millóns de euros). Vou desenvolver varios argumentos que nos axuden a valorar o investimento en tales superaceleradores.

1º Argumento da autoridade

O científico e asesor do goberno británico Sir David King (Pallab Ghosh, 2019) argumentou que debía facerse unha análise do custo-beneficio. “Sempre haberá unha física máis profunda que descubrir chocando partículas cada vez máis grandes. A miña pregunta é ata que punto ampliarase o coñecemento que xa temos para beneficiar á humanidade?” “Temos que trazar unha liña nalgún lugar, pola contra acabaremos cun colisionador tan grande que vire ao redor do ecuador”. O profesor King cre que os gobernos deben avaliar se o diñeiro podería gastarse mellor na investigación doutras prioridades máis perentorias. “Avanzamos cara a unha era na que a vida no planeta será máis cálida. No que a economía global actual deixará de funcionar e máis de 150 millóns de persoas veranse obrigadas a desprazarse”. “Por iso, se tivésemos unha bolsa de 25000 millóns

de dólares e estivésemos a discutir que facer con ela, teríamónos que enfrontar con persoas da comunidade das ciencias médicas con ideas para mellorar a saúde e o benestar humano". "Lidar co cambio climático é agora mesmo unha nova prioridade para os seres humanos".

Para Sabine Hossenfelder (Castelvecchi, Davide, 2019), física do Instituto de Estudos Avanzados de Frankfurt, o custo da nova instalación estaría moito mellor investido noutro tipo de proxecto, como colocar un gran radiotelescopio no lado oculto da Lúa ou lanzar ao espazo un detector de ondas gravitatorias.



CERN. Credit: Dominguez, Daniel: CERN

Antes da construción en Europa do LHC, os físicos estadounidenses suxeriron construír un supercolisionador capaz dunha enerxía de corenta Tev cun custo de 10.000 millóns de dólares. Transcribo os argumentos polos que se opuxeron a construír estas xigantescas máquinas; a oposición ao proxecto non só veu dos políticos, senón dos propios físicos e doutros científicos que argumentaban que a física de altas enerxías estaba sobre-subvencionada e que se obteñen beneficios maiores, tanto científicos como tecnolóxicos, ao investir o diñeiro noutros campos da ciencia. Uns dos críticos Philip Anderson (premio Nobel de física), suxeriu que a torta é finita e o que vai a altas enerxías non vai a outros, polo que se queremos manter unha ciencia saudable

debemos lanzar unha mirada crítica. Desafortunadamente, o financiamento da ciencia é un xogo de suma cero: máis gasto nun proxecto significa menos gasto noutros. 10.000 millóns de dólares era unha cantidade asombrosa de diñeiro para satisfacer a curiosidade dun pequeno grupo de físicos de altas enerxías -dixit-.

En resumo, non todos os científicos, físicos incluídos, están convencidos de que sexa un bo investimento.

2º Argumento da comparación de custo

No ano 2010, o físico Gerardo Herrera (Gerardo Herrera Corral, 2010) comparou o custo (entre paréntese, millóns de dólares) do Gran Colisionador de Hadróns con outros proxectos científicos máis caros: o Programa Apolo (135.000), a Estación Espacial Internacional (100.000), o Proxecto Manhattan (25.000), o Sistema de Posicionamento Global -GPS- (14.000), o Reactor Termonuclear Experimental Internacional -ITER- (14.000), o Telescopio Espacial Hubble (6.000), o Gran Colisionador de Hadróns -LHC- (6.000) e o proxecto Xenoma Humano (3.000). Para que a comparación sexa máis equilibrada fagamos a comparación con proxectos máis baratos. Case todos os coñecementos do espazo exterior ao sistema solar adquiríronse detectando as radiacións electromagnéticas, desde as ondas de radio ata os raios gamma. Na construción do Gran Telescopio de Canarias, entre o dez máis grandes do mundo, investíronse 120 millóns de euros. No telescopio ALMA, no deserto de Atacama, 1.300 millóns de dólares. O radiotelescopio chinés Fast, o segundo máis grande do mundo, 180 millóns de dólares. Iniciouse a construción do ELT (Barcons, X., González Herrera, J. e Sánchez Lavega, A. 2019), o futuro telescopio reflector máis grande do mundo

no deserto de Atacama, cun orzamento de 1.200 millóns de euros. Ademais das radiacións electromagnéticas, tamén nos chegan outros sinais do espazo: neutrinos, ondas gravitatorias e raios cósmicos. O custo do observatorio de neutrinos -IceCube (Adam Mann, 2010)-, na Antártida é de 279 millóns de dólares. A National Science Foundation de EE.UU investiu 1.100 millóns de dólares na construción, melloras, custos operativos e pagos a investigadores no detector de ondas gravitatorias, LIGO (John Horgan, 2016), desde que se aprobou a construción inicial en 1990. Compárense estes custos co gasto da CERN, Organización Europea para a Investigación Nuclear, que conta cun orzamento no ano 2023 de 1.206.315.450 euros (Budget final 2023 - CERN Document Server), dito en palabras, máis de mil millóns douscentos mil euros nun só ano.

3º Argumento da necesidade

Podería facerse física de altas enerxías con instrumentos menos onerosos? Cos detectores de raios cósmicos, por exemplo, centenaes de veces máis baratos? Os detectores de raios cósmicos non só nos proporcionan información do cosmos, senón tamén nos permiten observar choques cuxa enerxía é moi superior á conseguida no LHC. Reparemos na enerxía máxima que se alcanza no LHC, catorce billóns de eV e comparémola coa enerxía dalgúns raios cósmicos (debe sinalarse que se trata de partículas extremadamente raras): os de enerxía ultraalta (UHECR) superan os mil billóns de eV; os de enerxía extrema (EECR) superan un trillón de eV. Reparemos agora no observatorio de raios cósmicos Pierre Auger: detectaron vinte e sete sucesos con enerxías superiores a cincuenta e sete trillóns de eV (aproximadamente un cada catro semanas, entre os anos 2004 e 2007). O mesmo observatorio fixo a medición máis precisa da interacción protón-protón cunha enerxía de 57 billóns de eV, inaccesible co LHC (enerxía máxima 14 billóns de eV). En conclusión, nun observatorio de raios cósmicos poderíanse observar protóns con enerxías máis dun millón de veces superiores ás colisións de partículas terrestres; o Observatorio Auger de raios cósmicos custou 58 millóns de dólares.

E agora reparemos nunha comunicación procedente do LHC no ano 2021. Obtiveron un resultado que insinuía a posible existencia de leptoquarks, partículas que resultan inexplicables, segundo o modelo estándar; de confirmarse, sería un descubrimento sensacional. Agora ben os leptoquarks, se existen, prodúcense en colisións de partículas de alta enerxía, tanto nos colisionadores de partículas (LHCb collaboration, 2021) como nos raios cósmicos (M.C. Espirito Santo, A. Onofre, M. Paulos, M. Pimenta, J. C. Romao, B. Tome, 2006).

Unha última apreciación máis: “Estes descomunais e caros instrumentos [grandes aceleradores] non son a única opción das que dispoñen os físicos de partículas”, argúe C. Joshi para reducir tamaños e custos e defender os aceleradores baseados en plasma (aínda non dispoñibles), pero moito máis económicos que os actuais (Joshi, Chandrashekhar, 2021).

4º Argumento da creatividade

Talvez non sexa un argumento contundente, pero merece a pena apuntalo. Percy Bridgman (premio Nobel Física 1946) argüíu que os xigantescos proxectos de investigación da nova física ían en detrimento das ideas creativas e da liberdade intelectual. O resultado é unha nova xeración de físicos que nunca exercitaron a iniciativa e a creatividade. Non só non hai espazo para o individuo xenial, senón que os caros instrumentos parece que teñen vida propia e que son máis importantes que os físicos que traballaban neles. “Resérvome o dereito de negar o traballo experimental a altas enerxías a calquera membro do meu persoal que pense que non estea capacitado para a colaboración no grupo. Debo lembrarlle que despois de todo, non é vostede, senón a máquina a que crea as partículas e feitos que está vostede investigando” expresou Samuel Goudsmit (Kragh, Helge,

2007). O perigo non se pode expresar de maneira máis atinada. Lembra o culto lector ao científico que creou a Frankenstein?

5º Conclusión

Ningún economista sensato negará a necesidade de investir en ciencia, tampouco dubidará de que os recursos financeiros dedicados a ela deben ser limitados. Dedúcese que todos os proxectos científicos non poden facerse: deben asignarse prioridades; e este é o quid da cuestión. Nos albores do século XXI os xestores do diñeiro público deben identificar os grandes problemas aos que se enfrenta a humanidade para asignarlles recursos (sen que iso signifique prohibir que un investigador indague o que o seu libre albedrío estime conveniente).

5. Física experimental: alternativas

Como se trata de asignar prioridades, comprobemos se hai proxectos científicos alternativos nos que investir grandes sumas de diñeiro.

1º Necesítanse fortes investimentos para conseguir unha seguridade sanitaria mundial. A pandemia viral que vivimos na terceira década do século XXI é unha mostra do fracaso na prevención de enfermidades infecciosas. Ademais dos proxectos sanitarios, cabe sinalar que a cartografía do cerebro está sen facer (aínda que o proxecto Brain, cun investimento de 6.000 millóns de dólares, xa se lanzou) e as neurociencias están sen desenvolver.

2º Necesítanse fortes investimentos para aumentar a comprensión e mitigación das ameazas globais ao benestar da humanidade e á saúde da biosfera: o cambio climático, as alteracións xeolóxicas (cambios no uso dos solos incluídos), a contaminación química ambiental (do aire, solo e auga) ou a sexta extinción biolóxica masiva.

3º O coñecemento e exploración do universo é unha das fronteiras da física que mencionaba Freeman Dyson. Necesítanse novos instrumentos na Lúa e no espazo (Silk, Joseph, 2018; Ananthaswamy, Anil, 2021) para observar, entre outros obxectos, aos exoplanetas e buscar vida neles que nos permita entender a orixe da vida no noso; porque a atmosfera interfere ou bloquea algúns sinais. Necesítanse novos vehículos espaciais, tripulados ou non, por dúas razóns: 1º porque a exploración do sistema solar e o coñecemento doutros sistemas solares permitiranos apreciar a singularidade do noso: “Só o espazo pode ofrecernos a perspectiva necesaria para xestionar o noso planeta (Ross, Martin e David, Leonard 2021). A imaxe da saída da Terra, captada

polo Apolo 8 a miúdo asóciase co inicio do ecoloxismo global”. E 2º porque, anunciouno Carl Sagan, a humanidade debe establecerse de forma permanente na Lúa, viaxar a Marte e estenderse por todo o sistema solar.

4º Necesítanse fortes investimentos para entender a complexidade e con iso mellorar a predición de fenómenos xeolóxicos como a erupción dos volcáns, os sismos e tsunamis; ou dos fenómenos meteorolóxicos terrestres e solares (as tormentas solares poden alterar



Fractal. Credit: Charles Thonnev

as comunicacións). Necesítanse desenvolver modelos matemáticos de células e de organismos, de ecosistemas e de cidades, de redes neuronais e de redes telemáticas. Por exemplo, un modelo matemático dunha célula ou dun ser vivo permitiría observar como afecta un fármaco ou un aditivo alimentario antes de facer a proba en vivo.

5º Necesítase enerxía limpa. Aínda que se está construíndo o ITER, que custará 24.000 millóns de euros aproximadamente, converténdoo nun dos proxectos máis custosos da historia, fágome a seguinte pregunta: por que case se abandonaron os experimentos en fusión fría? Fusión fría mediante o emprego de muóns como catalizadores ou mediante sonoluminiscencia, fractofusión ou outro sistema; aínda que houbo algunha fraude (Pons e Fleischmann, 1989) e algún fracaso (Rusi Taleyarkhan, 2002), non hai razóns teóricas que a impidan e os experimentos son miles de veces máis baratos.

6º Conclúo preguntando ao lector escéptico: os grandes colisionadores de partículas teñen prioridade, no gasto de diñeiro, sobre a erradicación das enfermidades infecciosas da face da Terra?, ou no desenvolvemento das neurociencias? ou na xestión sostible do planeta? ou en comprobar se hai algunha outra forma de vida no universo?

6. Posibles causas

Por que os físicos de altas enerxías conseguiron e conseguen tantos recursos? “O prestixio alcanzado pola física de altas enerxías tras a Segunda Guerra Mundial garantiu a construción destas instalacións custosísimas” (Roqué, Xavier, 2001). Certo que contribuíron á vitoria das democracias na segunda guerra mundial cos seus inventos -bomba atómica incluída-, pero abusan do seu merecido prestixio para obter orzamentos excesivos?



Credit: Alexander Antropov

Consideremos dous aspectos do oficio de científico contemporáneo: o financeiro e a súa valoración social.

1º. A segunda guerra mundial marcou un fito para a ciencia. Cambiou a natureza do oficio de científico e alterou de maneira radical a súa relación coa administración, o exército e a industria. A nova escala de financiamento, debido ao aumento espectacular das subvencións do estado, supuxo un punto de inflexión: antes da guerra as axudas eran insignificantes, na posguerra os fondos

para a investigación en física multiplicáronse ata vinte veces; fondos que, durante dúas décadas, proviñeron de orzamentos militares (Kragh, Helge, 2007). Isto sucedeu nos Estados Unidos de América que eran -case- o único lugar do mundo onde se facía física. O apoio militar non estaba limitado só ás áreas que pertencían directa ou indirectamente ao bélico, senón que cubría todos os campos da física. Cal foi o efecto do masivo patrocinio militar? O crecemento espectacular das ciencias físicas e a orientación cara á física de altas enerxías de abundantes físicos estadounidenses (consecuencia das aplicacións da enerxía nuclear), algo que se converteu en norma en todo o mundo porque durante varias décadas Estados Unidos foi o líder científico mundial. Agora ben, todas as áreas da física recibiron os mesmos recursos? Evidentemente, non. Todas as ciencias naturais reciben os mesmos recursos? Tampouco (VV.AA., 2016).

2º. O século XIX deixou ao carón a faceta humana dos científicos para convertelos en heroes da epopea do progreso. “O científico erixiuse en portavoz da verdade e logo en guía da sociedade, xunto aos sacerdotes, cando non en competencia con eles” (Fonteneau, Yannick, 2019). Aínda por riba, a miúdo os científicos fixeron, igual que os relixiosos, haxiografía coa historia da ciencia: poucos saben que as dúas doutrinas xenocidas do século XX, personificadas en Hitler e Stalin, contaron co apoio entusiasta de numerosos científicos, algúns deles galardoados co Nobel. As figuras emblemáticas da ciencia, Newton e Galileo, Otto Hahn ou Heisenberg admirables desde un punto de vista intelectual son algunhas veces detestables desde o punto de vista humano (José Ortega y Gasset, 1983) e son a expresión da nosa necesidade antropolóxica de heroes. “Cando prevalece a realidade sorprendémonos como nenos que descubren que os seus pais non son os seres perfectos que eles crían”.

7. Conclusións

1º Os científicos -as demais persoas tamén- deben usar métodos científicos, ou sexa métodos baseados en probas, para adquirir coñecemento; e aceptar que a incerteza é parte do proceso. Non se trata de volver á superstición nin aos dogmas, trátase de defender a ciencia, porque a procura de verdades é sinónimo de controversia intelectual.

2º A cidadanía debe ser crítica ante as peticións financeiras dos científicos, que teñen as súas filias e fobias, os seus erros e acertos. Como recoñecer a verdade pregúntase o filósofo? A quen teño que crer interrógase o profano? En última instancia, o lector, sexa científico ou non, debe decidir en quen confía: en quen está seguro que ten razón ou en quen está disposto a que lle demostren que está equivocado.

3º Que o alumnado adquira pensamento crítico debe ser unha tarefa que todo o profesorado, sexa de educación primaria, secundaria ou universitaria, deben esforzarse en conseguir.

8. Referencias

- Anderson, Philip W. (1995). “Physics: The Opening to Complexity”. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1995 Jul 18; 92(15): 6653-6654. doi: 10.1073/pnas.92.15.6653
- Ananthaswamy, Anil (2021). “El cosmos desde la cara oculta de la Luna”. *Investigación y ciencia*. 538: 64-67, julio.
- 2021 Annual Contributions to CERN budget. <https://fap-dep.web.cern.ch/rpc/2021-annual-contributions-cern-budget>
- Barcons, X., González Herrera, J. e Sánchez Lavega, A. (2019). “El mayor ojo del planeta”. *Investigación y ciencia*, 517: 46-55, octubre.
- Bunge, Mario (2006). “The Philosophy behind Pseudoscience”. *Skeptical Inquirer*. Vol. 30, No. 4. July / August.
- Castelvecchi, Davide (2019). “El CERN presenta el sucesor del LHC”. <https://www.investigacionyciencia.es/noticias/el-cern-presenta-el-sucesor-del-lhc-17138>.
- Dyson, Freeman (2008). “El científico rebelde”. Debate. Barcelona.
- Espirito Santo, M.C.; Onofre, A.; Paulos, M.; Pimenta, M.; Romao, J. C.; Tome, B. (2006). “The sensitivity of cosmic ray air shower experiments for leptoquark detection”. *J.Phys.* G32 (2006) 609-628 DOI: 10.1088/0954-3899/32/5/002 arXiv:hep-ph/0508100

- Fonteneau, Yannick (2019). "Einstein, Newton o Pasteur no eran unos santos". *Investigación y ciencia*, 547: 68-74, octubre.
- Ghosh, Pallab (2019). "La ambición del nuevo colisionador de hadrones que será 4 veces más largo y 10 veces más potente que el actual". 26 enero. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46882577>
- Ginsparg, Paul and Glashow Sheldon (1986). "Desperately Seeking Superstrings". May 1986 *Physics Today* 39(5). DOI: 10.1063/1.2814991.
- Guillem Llobat, Ximo (2021). "La construcción científica de la ignorancia". *Investigación y ciencia*, 539: 56-57, agosto.
- Harari, Yuval N. (2020). "*21 lecciones para el siglo XXI*". Debate, Barcelona, pp. 236-238.
- Herrera Corral, Gerardo (2010). "Los proyectos científicos más costosos de nuestro tiempo". <https://www.cronica.com.mx/notas/2010/508289.html>
- Horgan, John (2016). Is the Gravitational-Wave Claim True? And Was It Worth the Cost? February 12, 2016. <https://blogs.scientificamerican.com/cross-check/is-the-gravitational-wave-claim-true-and-was-it-worth-the-cost/>
- Hossenfelder, Sabine (2017). "La gravedad cuántica, camino de convertirse en ciencia". *Investigación y ciencia*, 484: 16-24, enero.
- Ioannidis, John (2018). "Replantear la financiación". *Investigación y ciencia*, 507: 39-41, diciembre.
- Joshi, Chandrashekhar (2021). "Una nueva manera de acelerar partículas". *Investigación y ciencia*, 540: 36-43, septiembre.
- Kragh, Helge (2007). "*Generaciones cuánticas. Una historia de la física en el siglo XX*". Akal, Madrid, pp. 285-292, 298, 409.
- Kruglinski, Susan and Chanarin Oliver (2006). "Roger Penrose Says Physics Is Wrong...". <https://www.discovermagazine.com/the-sciences/discover-interview-roger-penrose-says-physics-is-wrong-from-string-theory>
- LHCb collaboration (2021). "Test of lepton universality in beauty-quark decays". Cornell University, arXiv.org > hep-ex arXiv:2103.11769
- Mann, Adam (2010). "IceCube completed". 29 December 2010 | Nature 469, 13 (2011) | doi:10.1038/469013a
- O'Connor, Cailin e Weatherall, James Owen (2019). "Por qué confiamos en mentiras". *Investigación y ciencia*, 518: 42-49, noviembre.
- Ortega y Gasset, José (1983). "Rebelión de las masas". Orbis, Barcelona.
- Palus, Shannon (2018). "Hacer reproducible la investigación". *Investigación y ciencia*, 507: 42-45, diciembre.
- Roqué, Xavier (2001). "La física en el último cuarto del siglo XX". *Investigación y ciencia*. 303: 4-10, diciembre.
- Ross, Martin e David, Leonard (2021). "Contaminación espacial". *Investigación y ciencia*. 535: 64-67, abril.
- Sanjuán, Miguel A. F. (2007). "La Física al encuentro de la complejidad". December 2007. *Arbor* CLXXXIII(728). DOI:10.3989/arbor.2007.i728.151

- Schwarz Harold, John H. (2018). "Reminiscences of Richard Feynman and His View of String Theory".
<https://www.marinabaysands.com/content/dam/singapore/marinabaysands/master/main/home/museum/Feynman/Reminiscences%20of%20Richard%20Feynman%20and%20His%20View%20of%20String%20Theory.pdf>
- Silk, Joseph (2018). "Pongamos telescopios en la Luna". *Investigación y ciencia*. 499: 54, abril.
- Smolin, Lee (2007). *Las dudas de la física en el siglo XXI : ¿Es la teoría de cuerdas un callejón sin salida?* Crítica, Barcelona.
- VV.AA. (2016). "¿Qué hallazgos despiertan mayor interés mediático?" *Investigación y ciencia*. 483: 74-75, diciembre.
- Woit, Peter (2002). "String Theory: An Evaluation". *American Scientist*, Vol. 90, no. 2 (Mar-Apr).
<https://arxiv.org/pdf/physics/0102051.pdf>
- Worthy, Graham e Yetrebsky, Cherie (2018). "Hacia una ciencia interdisciplinaria". *Investigación y ciencia*, 507: 46-49, diciembre.