



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
Dpto. Ciências da Terra
F.C.T.U.C.



132238605X

Museu Mineral. e Geológico
COIMBRA

Casa

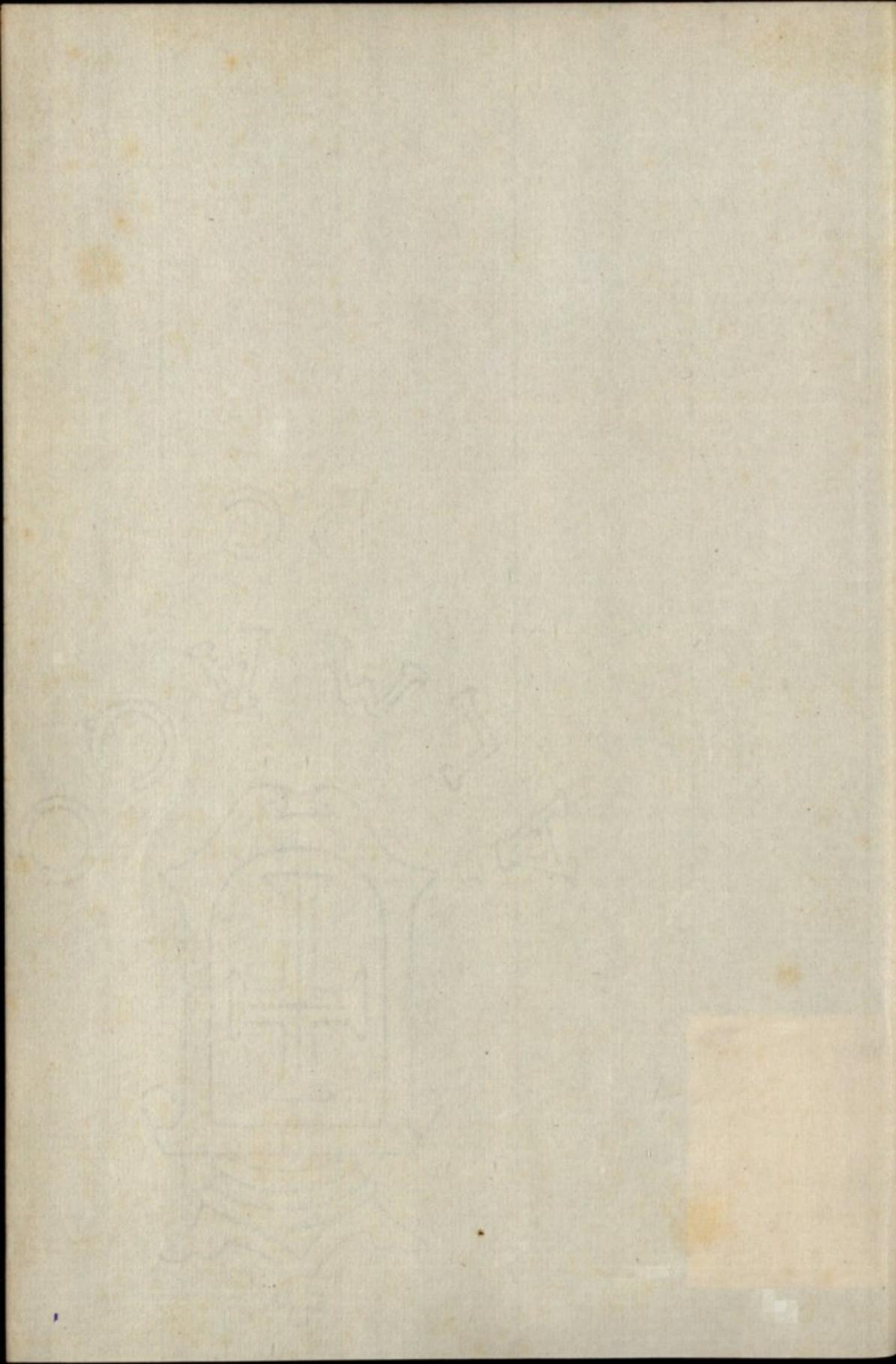
Est. AD

Prat. AO GONG-1, ex. 2

Pasta

N.º LEPT X

a 1992



Asociación Española *
para el Progreso * * * * *
de las Ciencias * * * * *

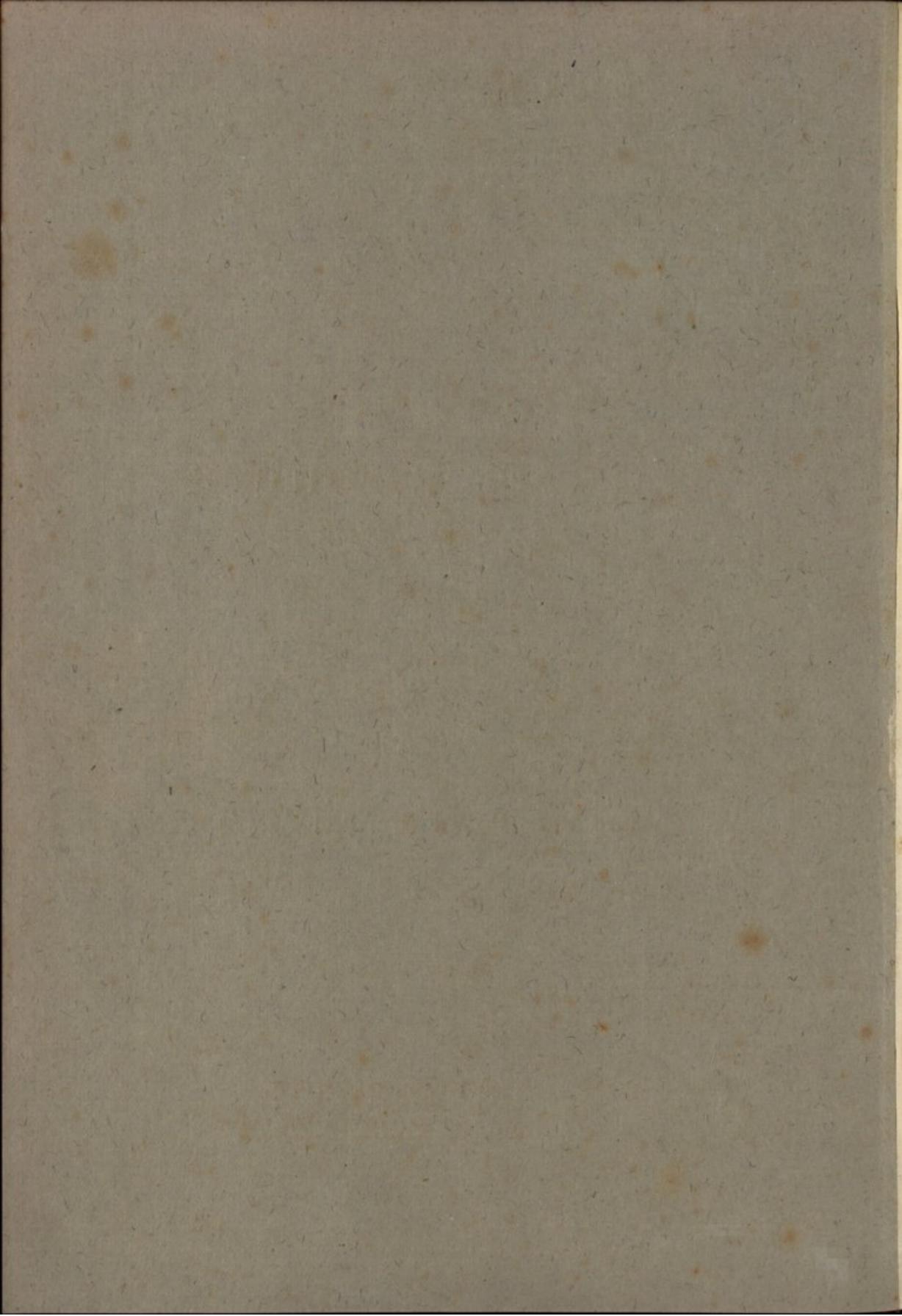
Congreso * * * * *
*** * * * * de Coimbra**

Tomo I - II



Discursos inaugurales * * *

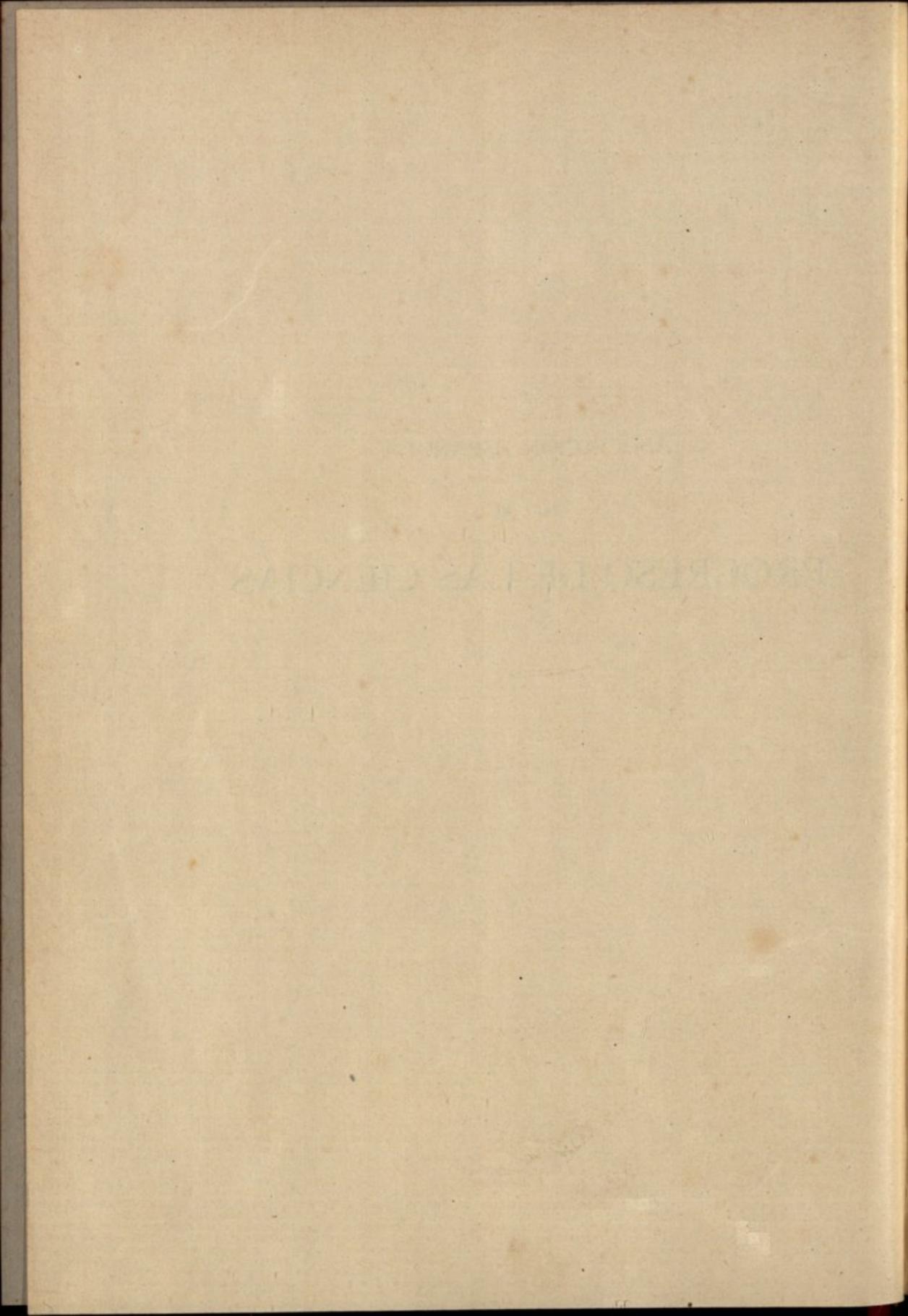
Talleres Poligráficos, S. A. * *
*** * * * Ferraz, 72, Madrid**



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA

PARA EL

PROGRESO DE LAS CIENCIAS



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA

PARA EL

PROGRESO DE LAS CIENCIAS

DÉCIMO CONGRESO

CELEBRADO EN LA CIUDAD DE COIMBRA

DEL 14 AL 19 DE JUNIO DE 1925

TERCER CONGRESO DE LA ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
PARA O PROGRESSO DAS SCIENCIAS)

TOMO I

MADRID

TALLERES POLIGRÁFICOS, S. A.

Ferraz, núm. 72.

—
1925

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA

TOMO I

PROGRESO DE LAS CIENCIAS

DECIMO CONGRESO

DE LAS CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DE LAS CIENCIAS QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS

DE LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS Y MÉDICAS

DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL UNIVERSO

DE LAS CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS

TOMO I

MADRID

EN LA TIENDA DE LA REVISTA DE LAS CIENCIAS

DE LAS CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

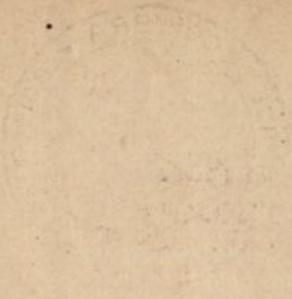
1911

1

SESION DE APERTURA DEL CONGRESO

CELEBRADA

EN EL PARANINFO DE LA UNIVERSIDAD DE
COIMBRA EL DÍA 14 DE JUNIO DE 1925



REPORT OF THE COMMISSIONER OF THE GENERAL LAND OFFICE

IN RESPONSE TO A RESOLUTION OF THE HOUSE OF COMMONS
PASSED ON THE 17TH MARCH 1881



DISCURSO INAUGURAL

POR

FRANCISCO M. DA COSTA LOBO

PROFESSOR DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

A Astronomia em Portugal na actualidade.

A observação integral da Humanidade fornece uma imagem em que se patenteia uma immensa planicie sombria e serena, sulcada por profundos abysmos, e acidentada aqui e acolá por impetuosas erupções e negras montanhas onde só de longe em longe se descortina uma fugaz scintilação. Mas quando a spectrographamos, quando atentamente observamos um qualquer dos seus elementos, depressa nos apercebemos de rapidos, complexos e intensos movimentos, que a cada instante alteram e perturbam essa apparente serenidade, e o conjuncto das imagens de qualquer *coupure* demonstra que o universo, encarado tambem debaixo d'este ponto de vista, é admiravel nas suas rapidas e continuas mutações, e o seu conjuncto se encontra em constante laboração de novos e surpreendentes phenomenos.

Quando o Sol declina rápidamente para o horisonte, a intensidade das radiações que fortemente nos impresionaram pelo meio do día, decresce velozmente. A agitação succede a tranquillidade, que em breve se converterá em um completo repouso, mas que permitirá recordar em socego, por alguns momentos, a serie de acontecimentos que vertiginosamente perpassaram por nós, corpusculo infinitamente pequeno, assignaladas pelas mais variadas impressões, ora vincadas em profundas dores, raras vezes em fugitivas alegrías.

É assim a vida humana. E eu, sem querer por forma alguma

ferir uma nota pessoal neste momento tão comovente, em que se conjugam notáveis circunstancias para assistirmos a uma das mais brilhantes apothèses da sciencia peninsular, e em especial da antiga mas sempre joven Universidade de Coimbra, não posso furtar-me ás saudades evocadas pela grandiosa solemnidade que se está realisando, debaixo d'estes tectos delicadamente lavrados, dentro d'esta sala impregnada de recordações inolvidáveis, tão característica, tão afamada, por toda a parte conhecida, e na qual a vida da nosa Universidade, mais de meia duzia de vezes secular, tem tido as mais brilhantes afirmações.

Grande parte dos homens cultos do nosso paiz aqui gosaram momentos de inolvidavel satisfação ao verem coroado de exito o seu labor scientifico.

Aqui se teem succedido innumeradas gerações academicas, estuantes de entusiasmo e animadas pelos mais nobres ideais, sempre dispostas a por elles se sacrificarem, como quem em pouco tem os gosos de um longo futuro, ainda a antolhar-se-the cheio de rosadas miragens, a apreciar o valor scientifico e a contribuir para o desenvolvimiento da sciencia e prestigio da sua Patria.

Aqui teem vindo os chefes de Estado receber a consagração que só pode ser conferida pela sciencia profunda e pela mocidade radiante.

Aqui temos tido a satisfação de assistir a confraternisar com as nossas glorias, e a augmentar-lhes o brilho, a representação mundial nas pessoas dos illustres ministros acreditados no nosso paiz, os quais asseguram as cordiaes relações que ás suas nações unem a nossa.

E, neste momento, todos estes factos se entrelaçam e constituem uma corôa immoreedoura para a nossa Universidade, que tem o immenso prazer de se sentir animada por todos os poderes, acarinhada por todas as suas irmãs e institutos congeneres, d'aqui e d'alem mar, e vivificada pelo entusiasmo juvenil da nossa mocidade academica. De facto, quando todos d'aqui tivermos saído, quando o ambiente d'esta sala voltar á sua habitual tranquilidade, nem por isso deixará de subsistir este memoravel acontecimento. Elle ficará perennemente gravado na nossa imaginação, tanto mais quanto maior fôr a juventude dos que tenham sentido estes momentos. Elle ficará para sempre inscripto nos annais da nossa Universidade a attestar a sua pujança e grandeza no primeiro quartel do seculo xx, a afirmar as enor-

mes forças de que dispõe e que che asseguram uma existencia illimitada.

A influencia do momento que passamos afastou-me por um instante das recordações evocadas, mas a ellas volto perpassando pela mente o turbilhão de acontecimientos já occorridos durante os quatorze annos que medeam desde que, rodeado de carinho, umco portuguez, assisti pela primeira vez, em 1911, a um congresso, o terceiro, realisado pela *Associação espanhola para o progresso das sciencias*, na encantadora e lendaria cidade de Granada. Quantos factos, quantas esperanças. ; Que illusões, que tremendas convulsões, que desgraças irréparaveis! O que seria uma descripção mesmo perfunctoria de tão variados e extranhos successos?

Só registarei que se chegou enfim a um dia que desde então sempre desejei, para gloria do meu paiz, e em especial d'esta terra a que me prendem laços indissoluveis, para tornar fortemente consistentes os laços de intima amizade que nos unem á nobre nação irmã, para receber nos nosos lares tantas figuras eminentes que são gloria do seu paiz e objecto da nossa maior admiração e carinhoso affecto. Mas, ao mesmo tempo, eu devo, cheio de amargura, inscrever aqui uma homenagem de infinita saudade para tantos que infelizmente já desapareceram, alguns dos quais foram os meus primeiros e queridos companheiros, que tanto eu quereria agora abraçar, e só lembrarei Thomaz 'Azcarate e Ignacio Tarazona, o primeiro e ultimo presidente da Associação espanhola, Moret e Dato.

Falta tambem a animar-nos com o fulgor da sua formosa intelligencia, com a vivacidade do seu incomparavel espirito, com a admiravel eloquencia das suas orações o nosso querido presidente, Dr. José Carracido, que já em Granada me entusiasmou com a sua evocação, cheia de encanto, ás Torres Vermejas, e com a maior bondade e amor por Portugal, constantemente deu o mais vivo apoio aos nossos desejos, tendo sempre a acompanha-lo o meu querido amigo Ricardo G.^a Mercet, alma diamantina, coração cheio de bondade, que sem um momento de repouso, tem sido incansavel esteio da notavel e douta organização que é a *Associação espanhola para o progresso das sciencias*. Facó os mais ardentes votos pelo seu prompto restabelecimento, e saúdo o illustre homem de sciencia, ao mesmo tempo notavel homem de estado que occupa um lugar primacial e com a maior distincão de

sempe o lugar de presidente da *Associação espanhola*. Na homenagem prestada ao sabio presidente da Associação espanhola, junto tambem a que presto ao nosso sabio e querido presidente, Dr. Gomes Teixeira, com a viva satisfação de lembrar os extraordinarios serviços que por todas as formas tem prestado á sciencia portuguesa, e o carinho que sempre tem demonstrado pela Universidade de Coimbra, de qué é um dos mais illustres filhos.

Especialmente, quero, significar a minha profunda admiração e a minha mais constante dedicação por sua Magestade El-Rei de Espanha, que com a sua presença dá sempre o maior brilho a estes certamens, demonstrando em todos os seus actos o maximo empenho em contribuir para o engrandecimiento da sciencia, para a prosperidade do seu paiz e felicidade da humanidade.

Respeitosamente saudo a nosso Venerando Chefe de Estado, o Governo, os Illustres Representantes das nações que honram o nosso Congresso associando-se aos seus trabalhos, e affirmo a minha profunda dedicação a Sua Excelencia o Reitor da nossa Universidade, aos meus illustres colegas e a todas as corporações e pessoas que contribuem para que este Congresso se realise com o mais vivo esplendor e tenha assegurados valiosos resultados.

* * *

Tendo-me sido concedida a honra de occupar-me, ainda que succintamente, de um assumpto scientifico, era natural que o escolhesse no campo que mais me occupa-a, Astronomia que, permita-se-me a afirmação, não discute primasias com outra qualquer sciencia. Porquanto, o que é a sciencia senão a interpretação do mundo physico conforme os nossos sentidos e a nossa consciencia permitem observa-lo? E a que se reduz essa interpretação? Á determinação da posição dos elementos fundamentais que constituem o Universo.

É strictamente um problema de mechanica, com aspectos infinitamente variados, segundo as combinações que consideramos, desde os elementos fundamentais animados da maxima velocidade, até aos mais complexos organismos em que as velocidades diminuem indefinidamente á medida que a sua complicação augmenta, succedendo o facto, já em epochas remotas assignado, de offerecerem os organismos as máis diversas apparen-

cias e qualidades conforme as combinações em que se encontram, mas sempre subordinados ao principio fundamental que estabeleci, da conservação da massa e da energia, pela conservação da velocidade, embora latente, dos elementos primitivos.

Uma observação é ainda indispensavel. Sendo bem justificada aquella doutrina quando consideramos a quasi totalidade dos phenomenos, é comtude preciso reconhecer-lhe uma restricção que não tem origem physica, e que nos faz reconhecer a verdade d'aquellas palavras dos textos sagrados que afirmam—que e homem foi feito á imagem e semelhança de Deus—Erradamente poderia suppôr-se que se tratava de uma semelhança material, sendo a materia uma creação. Trata-se sem duvida da existencia no homem de alguma cousa de espiritual que não deve confundirse com a intelligencia, mas que se patenteia por uma forma indiscutivel, e que é preciso scientificamente considerar. É que sendo apanagio de Deus a creação, ao homem pertence tambem uma qualidade derivada—o poder consciente da transformação.

Segundo as leis da gravitação os corpos em que prepondera a influencia da Terra seguem, em harmonia com expressões conhecidas, para o centro de gravidade. Mas o homem possui a qualidade de modificar, conscientemente, esses movimentos, como póde provocar e orientar a direcção das correntes electricas e outras forças de modo a seguirem os corpos trajetorias diversas d'aquellas que seguiriam se não sobreviesse a vontade humana. Poderá dizer-se: —Trata-se sómente da intervenção das forças manifestadas pela vida e physicamente explicaveis.—Sem duvida: não ha creação, mas ha uma transformação operada por uma vontade consciente; acção impossivel de prever, que levanta pontes, monumentos, que produz quedas d'agua, que move trens, navios, aeroplanos, que, emfim, produz variados e admiraveis phenomenos que não existiriam sem aquelas acções, cujo efeito é impossivel assignar previamente, e complicarão, embora em limites reduzidissimos, a successão dos phenomenos que teriam logar sem essa influencia.

Accentuarei que de modo algum quero perturbar a minha exposição com considerações que possam ser consideradas fóra da sciencia.

* A verdade é que não pode ser feita sciencia sem se atender ás considerações que deixo referidas.

Tambem muito haveria que dizer attentando na possibilidade

que o homem possui de crear pela abstracção, conseguindo, como succede ao geometra, produzir as mais admiraveis construcções, a que nada póde corresponder na realidade do mundo physico, o que torna incontestavelmente o homem, fora de qualquer preocupação de grandeza, a mais admiravel obra da creacção, no meio de tão extraordinarios phenomenos que nos assombram pela sua beleza e harmonia.

Ora a Astronomia tendo por objecto o estudo dos astros, é a synthese de todas as sciencias. Mas exactamente porque o seu objecto, assim considerada, assume proporções infinitas, indispensavel se torna estabelecer criterios especiaes que permitam uma classificação orientadora no meio de um tal amontoamento de investigações e conhecimentos. Estas considerações são largamente justificadas pelas innumeradas e variadas questões que de todos os lados surgem.

—Quando terão logar determinados phenomenos de posição, qual é a forma, o movimento, a composição do Sol, dos cometas, das estrelas, das nebulosas, dos planetas e portanto da Terra em que habitamos?

A vida vegetativa, psychica, social existirá em todos esses corpos e, sobre tudo, naquelles que se encontram em situação mais analogá da Terra, como seja Marte, que tanto tem apaixonado a Humanidade, e a Lua hoje esquecida, como ente que já se encontra inanimado?

Depois temos as questões que immediatamente nos interesam, —as variações atmosfericas, as erupções, os abalos sismicos. E todos esses phenomenos deverão ser encarados tanto debaixo de um ponto de vista utilitario como da sciencia pura, aproveitando o seu estudo para concluir as causas e induzir futuras consequencias.

Porventura não tivémos já os horoscopos, e não teremos hoje motivos serios para admitir correlações entre as correntes da vida e as correntes dos movimentos cosmicos?

Mas mesmo abandonando esta posição culminante, que dá á Astronomia a hegomonía da Sciencia, facil é reconhecer que importantes ramos do saber humano, que andam afastados do seu immediato dominio, constituem capitulos essenciaes da sua doutrina. A geodesia dedicada ao estudo da configuração da Terra, hoje especialmente empenhada na determinação de uma figura convencional de forma definida, embora não geometrica, util pa-

ra as comparações, impossiveis com a superficie apparente atormentada por infinitas rugosidades produzidas por uma velhice adeantada; o magnetismo terrestre, o vulcanismo, a oceanographia, o estado atmosferico, são doutrinas que, embora destacadas, constituem pequenos capitulos da Astronomia, e junto d'elles está adquirindo particular importancia o da sismologia, desde que este estudo deixa de ser simplesmente descriptivo para se tornar uma sciencia de investigação da statica e dinamica terrestre, succedendo o facto curioso de que, embora com carcteristicas completamente diversas, o sismographo e o spectroheliographo proseguem na consecução de objectivos identicos, um nas profundidades de Terra, o outro nas profundidades da atmospherica solar. No mesmo grupo deverá tambem ser incluída a geologia.

Todas estas sciencias especializam para a Terra o estudo que á Astronomia incumbe para todos os astros.

Foi este o criterio adoptado pelo sabio Astronomo o Reverendo Padre Cirera, então director do admiravel instituto que é o Observatorio do Ebro, hoje a cargo do eminente Astronomo D. Luiz Rhodés, quando em 1911, em Granada, pronunciou o discurso inaugural da secção de Astronomia subordinado ao thema «*Recientes Progresos de las Ciencias Astronómicas en España*».

Nesse memoravel trabalho encontramos uma rapida mas preciosa descripção do natevel estado de adiantamento de todos aquelles estudos scientificos em Espanha, e hoje muito haveria já a acrescentar, tendo eu o grande prazer de ter acompanhado com crescente admiração o labor incessante e inteligente com que os meus illustres colegas de Espanha teem os seus trabalhos *au point*, dispondo dos mais aperfeiçoados instrumentos e de profundos conhecimentos. Com a expressão da minha mais elevada amizade e consideração a todos carinhosamente abraço na figura, tão distinta como sympathica e bondosa, do meu querido amigo e sabio Director do Observatorio de Madrid, Dr. Antonio Vela.

Como já indiquei o meu ponto de vista será mais restricto, apezar das considerações que deixo feitas, e ocupando-me da «*Astronomia em Portugal na actualidade*», confinar-me-hei no que considerarei seu edificio principal—o Observatorio Astronomico, sem melindre algum para os meus illustres e sabios cole-

gas e, d'entre tantos que egual consideração me merecem, só lembrarei, de Espanha, Sanchez Navarro, Lucas Fernández Navarro Guillermo Sans Huelin, Novo y Chicarro ; de Portugal, Affonso Chaves, Almeida Lima, Anselmo de Carvalho, Pereira de Sousa, Almirante Newparth, Mimoso Guerra, Rolan Pego e pararei já para que a falta de outros nomes não possa significar esquecimento.

Mas para poder ser devidamente apreciado o estado em que se encontram entre nós os trabalhos astronomicos é oportuno dizer duas palavras sobre a actualisação do objectivo da Astronomia e tambem sobre a maneira como noutros paizes se effectiva essa objectivação.

X

Abstrairei das discussões ultimamente sugeridas, sobre tudo pelas notaveis investigações que com tanto exito estão sendo feitas, sobre os conhecimentos de que terá disposto uma humanidade anterior á epoca até ha pouco designada por prehistorica, a qual ficará portanto ocupando já uma posição intermedia, investigações que fazem suppôr a existencia de conhecimentos por muito tempo perdidos e que constituem assignalada gloria para os tempos modernos, com a possibilidade de extraordinarios aperfeiçoamentos na observação e consequentemente nas theorias. Para exemplo só lembrarei as considerações feitas por notaveis investigadores conducentes á conclusão de que em tempos olvidados foi conhecido o uso das lentes, observando que d'outro modo seria impossivel que Democrito podesse afirmar que a Via Lactea era constituída por inumeravel quantidade de estrelas, e que a causa da sua branca phosphorescencia resultaria da mistura confusa da sua luz.

Trata-se sem duvida d'um ponto da historia da sciencia digno de perseverantes investigações, mas que eu abandonarei para me restringir aos limites dos conhecimentos que a Historia nos assegura.

Assente esta base é justificado admitir que a Astronomia, passado um periodo meramente contemplativo, começou de facto, mas simplesmente descriptiva, rudimentarmente de posição, com figuras mais ou menos extravagantes que juncaram o ceu

de paganismo e imagens phantasticas da fauna terrestre, com vantagem, talvez, para estudos paleontologicos, de poderem servir de referencia estas étapes da Astronomia na fixação das edades da Terra, pois é interessante observar que a humanidade da Astronomia incipiente já deixára muito atraz as epocas mastodonticas, visto que nenhuma d'essas bizarras figuras que hoje admiramos nos museus foi archivada na aboboda celeste.

Podemos designar essa primeira phase por Astronomia antiga que, é certo, num periodo já adeantado, realisou trabalhos de grande utilidade, por quanto, embora de grosseira aproximação, permitiram obter conclusões valiosas e de relativo rigor devido ao numero, e á redução dos erros em consequencia dos longos periodos sobre que foram distribuidos. Demais, como bem observa o sabio Secretario perpetuo da Academia das Sciencias de Paris, Mr. Piccard, a circumstancia de não serem desde logo de extraordinario rigor as hypotheses, consequencia de tambem o não possuirem as observações, facilita o desenvolvimento da Sciencia por se tornar mais facil estabelecer equações que conduzem ao prognostico de futuros conhecimentos. É o que facilmente se reconhece atentando na chave da theoria do Universo, na hypothese de Newton, a qual segundo a theoria sobre a estructura do Universo que tenho apresentado, só será valida quando as acções se encontrem distribuidas uniformemente em volta de massas concentradas em pontos. Estas circumstancias, pode affirmar-se, nunca terão logar. Contudo a concordancia das observações com os resultados da teoria, demonstra que, pelo menos no systema planetario, e dentro do limite dos erros actuaes, o emprego da hypothese é justificado, embora o movimento do perihelio de Mercurio já manifeste a necessidade das retrições indicadas. E como, de outro modo, poderiam ter sido descobertas as chamadas leis de Kepler, que tão longe estão da realidade, e que comtudo tão importantes serviços prestam á Sciencia?

Aquelle periodo inicial segue-se o *classico*, caracterizado pela precisão da determinação das posições das massas globais astrais, sejam nebulosas e como tais só considerarei as massas irreductiveis, e não os enormes montões de estrelas de que a separação só depende da potencia e qualidade dos instrumentos da observação, as estrelas, os planetas, os satellites e os cometas de bizarras figuras, entre os quaes, sem ofensa, poderá ser in-

cluido o nosso Sol possuidor de uma aureola penachada, de que o estudo servirá para estabelecer ideias sobre o meio que atravessamos, ao mesmo tempo, a meu ver, resistente e propulsor. E' este periodo caracterizado por duas descobertas, ambas notaveis, uma genial —a lente que permite apurar extraordinariamente a precisão das observações,—a hypothese de Newton que tornou possivel a applicação da analyse á determinação dos movimentos astrais, é certo até agora, quasi exclusivamente dos corpos que pertencem á nossa familia planetaria.

Enfim, ha cerca de um seculo, iniciou-se a phase moderna, sem prejuizo de proseguirem os trabalhos caracteristicos da anterior, os ques, ultimamente, teem atingido, tanto na observação como no calculo, progressos admiraveis. Tornou-se possivel levar o rigor das posições á centesima do segundo de tempo, e já se pensa na milésima, e a visibilidade dos astros até a 21ª grandeza, de modo que de cerca de cinco mil estrelas visiveis a olho nú, e algumas centenas de milhares postas a descoberto pelos instrumentos directos, já se chegou á observação de centenas de milhões que os processos spectroscopicos revelam. Tambem nos calculos tem sido introduzidos consideraveis aperfeiçoamentos dispondo-se ao mesmo tempo de elementos basilares tornados dia a dia mais rigorosos.

A fase moderna, assombro do génio humano, e que pode ser designada por *fase da constituição*, como a anterior por *fase da posição*, entrou pelas rasgadas portas abertas pela descoberta da spectroscopia.

Da observação em bloco das massas astrais passou-se ao estudo íntimo dessas massas, ao estudo profundo da sua constituição, o qual compreende não só o exame da estructura das substancias constitutivas, mas tambem o das posições e movimentos dessas substâncias, chegando-se aos elementos componentes do atomo.

E emquanto que na fase clássica a sciencia astronómica se encontrava quáse restrita ao miuusculo rincão do sistêma planetário, nesta outra penetramos nos mais recônditos mistérios do Universo físico.

A observação não encontra limites e a humanidade póde com orgulho declarar-se habilitada a prescrutar e apreciar igualmente os corpos que examina nos laboratórios, que ali pesa, mede e observa nos surpreendentes movimentos dos seus mais primi-

tivos elementos, e os corpos que se encontram afastados de nós de séculos de luz.

Este exame, demais, não se aplica a consideráveis blocos, mas pelo contrário à observação das mais reduzidas partículas, pois é sobretudo aos últimos productos da dissociação da matéria que tem aplicação os admiráveis processos que o génio humano inventou para poder chegar às mais surpreendentes conclusões sobre o estado dos conjuntos organizados.

Sem mesmo remontar às épocas iniciais da Astronomia, que imenso caminho percorrido desde os tempos ainda recentes, em que, já possuidores duma sciência digna de consideração, os gregos, com Aristóteles à frente, incrustavam os astros em esferas de cristal e davam ao infinitamente grande limites sólidos e estáveis e, até mesmo, daquêles tam próximos que ainda nos envolvem hoje, em que, uma sciência já profunda, dava aos infinitamente pequenos limites também sólidos e estáveis. E de repente o atomo aparece enorme, fragil e destrutivel ; Como é limitado e mesquinho, para os conhecimentos quasi instantaneamente adquiridos, esse Universo compreendido entre o atomo e as esferas de cristal !

Analogas considerações sugere a noção do tempo. Hoje sam observados conjuntos interessantes de fenómenos que se desenrolam em períodos infinitamente pequenos do tempo em relação aos mais reduzidos normalmente apreciados ; em quanto que outros passam por fases entre as quais medeam intervalos colossais.

É ainda oportuno observar que tendo-se chegado ha pouco a um momento em que poderia supôr-se que a Sciência estava senhora da chave dos problemas astronómicos, novas questões surgem, e tais, que bem pode admitir-se que o desconhecido cresce em progressão geométrica emquanto que os nossos conhecimentos crescem em progressão aritmética. Os fenómenos observados e os resultados obtidos de tal modo se multiplicam em variedade e complexidade e adquirem uma tal precisão, de que o limite, é certo, nos foge sempre, que a despeito de descobertas sensacionais como as de Newton e da análise espectral, nos sentimos esmagados debaixo do peso dos complicados problemas que os fenómenos do Universo nos oferecem em prodigios de harmonia e beleza.

Tambem é interessante notar que ao mesmo tempo que se

arreiga a convicção da discontinuidade do mundo físico, mais os fenómenos dão a impressão da continuidade, e até da multiplicidade simultânea local, afigurando-se-nos que em qualquer lugar que consideremos, e por mais reduzido que seja, nêle se passam simultaneamente uma infinidade de fenómenos. Porquanto não possui já o homem poder suficiente para provar que em qualquer ponto do espaço, aqui mesmo junto de nós, se encontram a acompanhar-nos as mensagens de fenómenos passados por todo o Universo? Devidamente considerado qualquer destes pontos é um Universo de fenómenos, consequência de outros provocados pelo homem a enormes distâncias. E porque duvidaremos de que instrumentos mais potentes (já chegámos ao reforço de um milhão) não permitam desvendar outros, ainda desconhecidos, resultantes de fenómenos ocorridos em astros remotos?

Como poderia imaginar o pastôr caldeu, primitivo precursor do astrónomo moderno, ao focar na sua retina (sem se aperceber da maravilha de tal fenómeno) a imagem do longínquo foco luminoso que o guiava nas suas viagens, que aproveitava um aparelho precioso, que a natureza na sua misteriosa e gigantesca fábrica produz aos milhões, sem o mínimo esforço, e que nos raios que lha formavam eram conduzidos os mais variados e estranhos fenómenos?

Qual a explicação para aquêles factos, que se nos afiguram já fora do domínio da física? Creio que decorre simples e clara da doutrina que propuz e que tem por base a existência dum número indefinido de radiações infinitamente ténues, animadas de normas e imperescíveis velocidades.

* * *

A definição da fase atual da Astronomia conduz imediatamente à divisão desta ciência em dois importantes ramos, dos quais um tem por objecto os sistemas stellares, o outro os sistemas atómicos, devendo supôr-se que em ambos existirão sistemas em formação do género das nebulosas, e acções radiantes com infinita variedade de fenómenos.

É fácil de compreender quanto êste aspecto do problema torna complicada a investigação. E se a síntese é o objectivo final da Ciência o edifício em que o architecto consegue, pela solidez

das bases e pela ornamentação do conjunto, tornar a Sciencia não só útil mas também aprazível, a análise representa igualmente um papel importantíssimo, o do mineiro que com o corpo curvado ao peso do alvião desentranha da natureza os materiais precisos para a construção e, sem que exista uma relação necessária, é presumível que o estado científico de um país possa aquilatar-se pelo seu labôr de análise.

Fica demonstrado que a sciência astronómica deve atualmente ser elaborada em dois campos muito diversos. No observatório, que investiga os céus, e no laboratório onde é analysada a matéria e são preparados os elementos precisos para a interpretação dos resultados que o Observatório fornece. São dois ramos de estudo que se amparam mutuamente. Por isso ao lado do Observatório, com os seus telescopios, torna-se preciso o laboratório astro-físico, com os seus microscopios, e em ambos, a servir de traço de união, o aparelho spectrográfico que, mais do que qualquer outro instrumento, penetra profundamente na essência da materia.

São bem conhecidas as instalações do primeiro grupo, embora por enquanto sejam pouco difundidas as que podem occupar-se dos novos problemas. Poucas existem das que correspondem à segunda categoria.

Entre estas occupa um lugar notavel o laboratório de astrofísica do *Imperial College of Science and Technology*, dirigido pelo sábio Prof. Mr. A. Fowler, que entre outros estudos de alto valôr se tem distinguido pelas suas admiraveis investigações sôbre as series das riscas spectraes, e que com justificado orgúlho se considera no seu laboratório rodeado de estrelas aprisionadas. Quase um criador!

É que esses trabalhos de laboratório conduzem, atravez de porfiados e inteligentes esforços, a obter corpos em tais condições de temperatura e pressão que pode assegurar-se que representam, e descobrem na terra, a constituição, e estado daquêles que de longinquas paragens nos enviam as suas radiações, que ao fim, por vezes de seculos de viagem, apreciamos hoje, sobretudo, na placa fotografica, depois de terem sido dissecados pelo prisma ou pela rede.

Indiquei a largos traços os problemas gerais da sciencia astronómica pondo de parte aquêles que relativamente à Terra constituem sciências especiais, e na impossibilidade de neste momento indicar, mesmo sumariamente, as multiplas questões que estão sendo estudadas, cada uma das quais oferece largo campo à analyse e exigem longos anos de perseverante observação, limitar-me hei a algumas mais importantes para em seguida referir a parte que para a sua solução está tomando o nosso país.

Mas para melhor tratar este assunto convirá dar já uma rapida indicação dos principais estabelecimentos científicos que tem a seu cargo estes trabalhos.

A circunstância de ser Portugal um país marítimo, e tanto depender a navegação dos conhecimentos astronómicos, contribuiu para que o interesse pelos estudos astronómicos no nosso país venha dos primeiros tempos da monarchia. Igual facto teve lugar em Espanha, e é bem conhecida a grande influencia que ali exerceu, entre outros monarchas, Afonso X o Sábio.

Quanto o espirito marítimo deverá ter contribuido para o desenvolvimento dos estudos astronómicos encontra-se de sobejo demonstrado na alta importância que na Inglaterra, que mais tarde adquiriu a supremacia dos mares, foi dada a estes assuntos, que no Observatório de Greenwich adquiriram o mais largo incremento, tendo conservado sempre uma situação primacial. Basta atentar na obra colossal dos seus catalogos periódicos de estrelas. Outros e famosos observatórios foram seus contemporâneos, ou criados modernamente com características mais ou menos especializadas. entre outros, na Europa, o Observatório de Paris, onde brilharam os Cassini, Delambre, Verrier e ultimamente sábios astrónomos como Puisseux, Baillaud, Bigourdan, o de Meudon, onde Jansen fez notabilissimas descobertas e ao qual o seu sábio Director Mr. Deslandres dá a maior glória, o do Vaticano, onde o P. Secchi realizou uma obra memoravel, e os colossais Observatórios da América do Norte, do Canadá, da Alemanha. E sem possibilidade de poder fazer-lhe mais larga referênciã agora só notarei que mesmo a Inglaterra possui também entre outros o de Cambridge, com Newall e Eddington, o de Kensington onde se notabilizou Lockyer, onde se encontra A. Fowler. Contudo é justo reconhecer que o grande emporio astronómico do Observatório de Greenwich não só sustenta uma situação de primeira grandeza nos seus trabalhos tradicionais,

mas tambem acompanha com os melhores resultados as investigações exigidas pelos novos problemas da Astronomia, os quais já não teem a mesma importância para a navegação marítima, mas de facto interessam pelas suas conclusões ainda mais largamente a toda a humanidade e até à navegação aérea.

Ainda n'este ramo Portugal acaba de marcar um logar de destaque com a gloriosa viagem ao Brazil, realisada por Gago Coutinho e Saccadura Cabral, que vieram provar que Portugal conserva as distinctas qualidades que immortalisam a sua historia, e sendo bom conhecido o alto valor dos trabalhos scientificos de Gago Coutinho que orientaram esta arrojada empresa, é justo observar que tambem agora teem applicação, entre outras, a seguinte apreciação que sobre as descobertas feitas pelos portuguezes encontramos no *Tractado em defensão da carta de marear*, do sabio Pedro Nunes «*Ora manifesto é que estes descobrimentos de costas, ilhas e terras firmes, não se fizeram indo a acertar*».

Para Portugal póde ser marcada como inicio de uma epoca astronomica o admiravel impulso dado pelo inclito infante Don Henrique aos estudos astronomicos, com o fim especial de orientar as descobertas maritimas que o seu esforço viu coroado do mais assignalado exito.

Não ha tempo para recordar os memoraveis trabalhos d'essas epocas em que Jacome de Mallorca, auxiliar do Infante, já traçou as cartas planas percussoras das de Mercator e de Wrigt, em que Affonso V se notabililou na sciencia astronomica, em que D. João II creou a notavel junta de mathematicos e geografos, que superiormente presidiu as investigações scientificas que deviam conduzir as empavezadas caravellas de Portugal á descoberta e conquista de tanta terra. Tanta que ao fim de muitos seculos ainda possuimos vastissimos imperios e preciosas joias. Tambem não devo deixar de lembrar que El-Rei D. Manuel installou em 1518 na Universidade de Lisboa uma cadeira de Astronomia, de que foi professor o seu medico mestre Philipe, e nomeou astronomo chronista a Zacuto, celebre pelas taboas do Sol, de grande utilidade para o calculo das latitudes por meio das alturas meridianas do Sol, e que D. João III teve a fortuna de poder aproveitar o genio de Pedro Nunes, que foi nomeado cosmographo mór em 1529, e lente de mathematica quando em 1524 foi transferida a Universidade para Coimbra.

Depois da extraordinaria faina que occupou Portugal nos

seculos XIV, XV e XVI, comprehende-se que sobreviesse um periodo de calmaria que vae até aos fins do seculo XVIII, até á epoca da Renascença com a acção potente do Marquez de Pombal. A essa epoca podemos ir buscar os fundamentos de duas das principaes intuições astronomicas actuais: os observatorios das Universidades de Coimbra e de Lisboa, sendo de origem muito mais recente o Observatorio da Tapada, que se deve ao elevado criterio e zelo de El-Rei D. Pedro V. A estes tres estabelecimentos ha ainda a crescentar a installação do Castelo de São Jorge, embora de indole especial, geodesica, a installação da Universidade do Porto, que tem conservado exclusivamente o character de estabelecimento de ensino, hoje a cargo do illustre Professor Sr. Dr. José Alves Bonifacio, e a que existe na escola Naval, tambem da mesma indole, instalada depois da supressão, em 1874, do Observatorio de Marinha, em que se efectuaram importantes observações.

Data, como deixei dito, do ultimo quartel do seculo XVIII o renascimento dos estudos astronomicos, pelo menos com feição investigadora, e deve-se á acção dos notaveis ministros Marquez de Pombal, Martinho de Mello e Castro que governou desde 1770 a 1796, e D. Rodrigo de Sousa Coutinho que lhe succedeu no poder e na alta comprehensão da missão do ministro.

Em 1779 foi creada a Academia Real de Marinha dotada com um observatorio. Em 1796 foi creada a Academia Real de Guardas Marinhas e em 1798 o Observatorio Real de Marinha ao qual foi entregue o observatorio d'aquella Academia.

Lembro estes factos para filiar o actual Observatorio da Universidade de Lisboa, da qual a faculdade de sciencias é, com esta designação, a celebre Escola Polytecnica que tão grande fama logrou, e que creada em 1837, em substituição da Academia de Marinha, foi dotada com o Observatorio de Marinha.

No emtanto em 1845 foi a Academia dos Guardas Marinhas transformada em Escola Naval com um observatorio, que foi extinto em 1874, apezar dos trabalhos que ali eram realisados, ficando sómente para a Escola Naval o indispensavel para o ensino.

Verifica-se pois que ao fim d'estas varias mutações resta sómente d'estas installações o Observatorio da Universidade de Lisboa, distinctamente dirigido pelo douto Profesor Sr. Dr. Eduardo Andrea que, por muito tempo, teve sobre tudo de reme-

diar os prejuizos que á estabilidade do Observatorio foram causados pela abertura do Tunel do Rocio. Felizmente os trabalhos indispensaveis estão realizados e os serviços astronomicos seguem como terei occasião de referir.

Da mesma epoca dos trabalhos que acabo de indicar e que, tendo principiado com o character maritimo, terminaram pelo actual Observatorio da Universidade de Lisboa, é a instalação que em 1779 foi feita n'uma das Torres do Castelo de São Jorge, e que póde reputar-se ter sido o primeiro Observatorio astronómico de Lisboa, e como tal está designado na planta de Lisboa de 1807. Ali fez observações de latitudes e azimuths o Dr. Francisco Antonio Ciera, depois de 1790. E o general Filipe Folque, que determinou a sua latitude em 1873, nas suas memorias, datadas de 1848, chama-lhe Observatorio Academico. Em 1862, e por ordem do mesmo general, foram determinadas as suas coordenadas em relação ao Observatorio de Marinha, e em 1870 em relação ao Observatorio da Tapada da Ajuda, por meio de uma triangulação. O relatorio d'este trabalho foi publicado em 1885.

Este observatorio em que prelecionou o celebre mathematico José Anastacio da Cunha, pertence de longa data aos serviços geodesicos, hoje Administração Geral dos Serviços Geodesicos Topograficos e Cadastrais, a cargo do illustre Coronel do Estado Maior Sr. Mimoso Guerra, que com a mais elevada competencia e zelo se está desempenhando da sua missão. Serviu de ponto de partida para o calculo das coordenadas geograficas do nosso paiz, e é um dos vertices da nossa triangulação fundamental.

Foi esta a estação escolhida pela missão espanhola encarregada de ligar a rede geodesica portuguesa á rede internacional pela determinação da longitude geografica por meio da telegrafia. Tive occasião de acompanhar esses trabalhos que foram conduzidos com a maior meticulosidade. E vem a proposito lembrar que não foi esta a ultima vez que missões espanholas vieram entre nós realizar missões de character internacional. Ainda ultimamente o coronel D. Ubaldo Azpiazu veio fazer os trabalhos indispensaveis para fechar a carta magnetica da península e D. Guilherme Sanz para a carta das variações da gravidade. É decerto sempre para nós motivo de grande satisfação receber estas missões, e estas mais recentes, e com as quais tivemos occasião de colaborar, deixaram-nos as mais gratas recordações. É comtudo indispensavel que o nosso paiz tenha os seus tra-

balhos com o adeantamento preciso para que aos nossos vizinhos, ou a outros paizes, seja evitado este exceso de serviço.

Creio que, depois de um periodo bastante longo em que a nossa acção que teve em epochas ainda pouco afastadas, entre outros, homens do grande valor do General Folque e Brito Limpo, esteve bastante amortecida, recobra n'este momento nova intensidade. Os trabalhos da carta oceanographica, encaminhados com superior intelligencia pelo illustre Almirante Excmo. Sr. A. Newport seguem activamente ; o douto professor da Universidade de Coimbra Sr. Dr. Anselmo de Calvalho está realizando um grande esforço para executar a carta magnética. Devido á intervenção da *Secção Nacional das Uniões Internacionais de Astronomia, Geodesia e Telegraphia Sem Fios*, cuja criação tive a honra do propôr e o Governo decretou, já Portugal se fez representar no Congresso da União Geodesica internacional, que em Madrid se realisou com o maior brilho, muito contribuindo para esse admiravel resultado o seu illustre secretario geral o Coronel M. G. Perrier, que nos dá a honra de acompanhar os nossos trabalhos ; e o nosso vice-presidente, incansavel e illustre administrador geral dos serviços geodesicos Exmo. Sr. Mimoso Guerra, tem assegurado que muito brevemente serão estudadas entre nós as variações da gravidade, ficando, emfim, Portugal integrado no movimento internacional d'estes ramos scientificos, com acção propria, como tambem o está nos trabalhos astronómicos, contribuindo hoje muito para esse effeito a mesma entidade.

Seguindo a ordem chronologica é occasião de me referir ao Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, sem duvida a instituição que durante mais longo tempo tem seguido uma trajectoria continua. Compreende-se que assim tenha succedido notando que pelo menos data de 1518 a instalação de estudos regulares de Astronomia nesta Universidade, tendo ja então sido nella creada uma cadeira de Astronomia, como ha pouco referi.

Marca para Portugal o anno de 1772 o inicio de uma epocha de renascimento assignalado por um dos factos que maior importancia podia ter para o paiz, qual foi o da organização em bases solidas de uma acção ponderada e progressiva do ensino superior. Bastaria o golpe de genio manifestado por esta obra para tornar immortal a memoria do Marquez de Pombal, que, nes-

te como noutros ramos da administração publica, demonstrou as suas admiraveis qualidades de estadista. De facto se na infancia des civilisações é natural supõr que a educação scientifica tenha caminhado por successivos aperfeiçoamentos dos conhecimentos elementares, é evidente que tratando-se da educação de um povo já adeantado, e numa epoca de civilisação geral avançada, o caminho a seguir para rapidamente ser elevada a sua capacidade scientifica deve ser exactamente o contrario. Edificar desde logo sobre as mais seguras bases o ensino superior d'onde rapidamente irradiarão os elementos capazes de dar o mais elevado desenvolvimento aos outros ramos de ensino,—tecnico, artistico, secundario e primario, adoptando ainda uma classificação um pouco atrazada, visto que hoje tanto o ensino tecnico como a artistico deverão entrelaçar-se muito con os outros ramos de instrucção, sendo o seu conjuncto indispensavel para crear o homem moderno—como geralmente já o encontramos nos paizes de cultura mais aprimorada.

Da alta compreensão que o Marquez de Pombal tinha da sua missão deu prova exuberante pela maneira como elaborou o p'ano da reforma, e como o executou, revestindo mesmo de desusada pompa as cerimoniaes que deviam impressionar o publico, ás quais presidiu em Coimbra, com poderes e honras de Vice-Rei. Decerto muito tem havido a introduzir nas doutrinas a ensinar desde essa epoca. Muito, infelizmente, se tem feito, ou deixado de fazer, em materia pedagogica, por desconhecimiento das sabias regras encerradas na monumental obra dos Estatutos, ou por incapacidade da compreensão do seu alcance. Basta notar que n'aquella admiravel obra é recommendado que no texto das lições sejam inscriptos sem demora todos e quaesquer descobrimentos scientificos que appareçam; que se varie constantemente de textos, escolhendo os melhores nacionais ou estrangeiros, e se ordena a creação de uma *Congregação de Sciencias Naturais*, encarregada de velar e trabalhar continuamente no aperfeiçoamento d'estas sciencias. Profundo conhecedor da natureza humana o Marquez poz importantes recursos á disposição de professores e alumnos, para incitamento ao trabalho e investigação scientifica. Os ordenados então marcados para os professores eram muitas vezes superiores aòs que actualmente mal ajudam a viver o professorado, provocando a ruina da instrucção, que é base essencial para o progresso de um povo. Aos

alumnos foram largamente distribuidas honras, premios e partidos pecuniarios, que asseguravam a emulação e tornavam a instrução possível para todas as classes.

Entre as cadeiras então creadas figura com particular importancia a destinada ao ensino da Astronomia, a qual constituia a cupula do ensino, collocada no 4.º anno e compreendendo—a theoria do movimento dos astros, tanto physica como geometrica, e a pratica do calculo e observações astronomicas.

Ao mesmo tempo, e com elements indispensaveis para que o ensino fosse proficuo, foram creados os necessarios laboratorios scientificos encontrando—se no primeiro lugar o Observatorio Astronomico. E embora a sua primeira organização ihe desse sómente as características de um estabelecimento auxiliar do ensino, no entanto para o Marquez de Pombal havia já a intenção da investigação e divulgação.

Effectivamente a carta regia de 11 de Novembro de 1772 já destina que seja assente no vasto recinto das ruinas do Castello de Coimbra onde, alem do Observatorio, deveriam ser construidas casas para professores e adjuntos, e tambem para a guarda dos instrumentos.

O projecto mandado executar e cuja planta ainda existe, bem como o respectivo orçamento, era sumptuoso, e attestava a alta importancia que se ligava aos estudos astronomicos. A construcção que, iniciada em 1773, não passou das sobre portas do primeiro pavimento, conserva—se ainda hoje a atestar a invulgar envergadura do estadista que foi o Marquez de Pombal. Este, porem, morreu pouco depois de terem principiado aquellas obras, que foram suspensas, para não mais continuar, em setembro de 1775. Ao grandioso projecto de 1773 foi substituido outro mais modesto mas elegante e espaçoso para a epoca, construido desde 1790 até 1799, o qual até ha pouco chegou para o movimento astronomico, limitado, como por toda a parte, aos trabalhos de posição, mas que hoje foi preciso alargar para bastante longe por que infelizmente tem faltado a necessaria previdencia para reservar junto da Universidade espaço sufficiente para as suas necessidades crescentes.

Acabado o edificio, desde logo foi providenciado para que os trabalhos da astronomia adquirissem todo o desenvolvimento que naquella epoca podia obter—se, ficando a Universidade de Coimbra dotada com um verdadeiro Observatorio Astronomico.

pela carta regia de 4 de Dezembro de 1799, a qual determinou—que n'elle se trabalhasse assiduamente nas observações mais apuradas e exactas, que pudessem contribuir para verificar e rectificar as taboas astronomicas, e para adeantar e promover os conhecimentos de geographia e navegação, cooperando com os trabalhos dos observatorios mais acreditados.

Se fálhou o edificio monumental que, para utilidade e prestigio dos serviços astronomicos, foi projectado pelo Marquez de Pombal, tendo em todo o caso sido substituido por outro que para a epoca representa já uma rasgada iniciativa, não fálhou o homem escolhido para lhe dar gloria, José Monteiro da Rocha, que foi um dos mais valiosos collaboradores de Pombal na redacção dos Estatutos Universitarios, notavel mathematico, e um director que desde logo conseguiu para o Observatorio Astronomico de Coimbra fama mundial. Em 1802 foi publicado o primeiro volume das Ephemerides calculadas para o meridiano de Coimbra e para 1804, quasi ininterruptamente continuadas até hoje, e agora debaixo da sabia direcção do illustre director da Faculdade de Sciencias, Exmo. Sr. Dr. Souto Rodrigues. Foi esta publicação recebida com o maior aplauso pelo mundo scientifico, por conter processos de calculo originaes e ser em as ephemerides calculadas com grande meticulosidade. A ellas fez referencias extremamente elogiosas *Delambre* nas addições ao *Connaissance des Temps* para 1808 e 1809, e mais tarde muitas outras se seguiram de notaveis sabios, como Lowenorn, Schumacher, Lindenau, etc. Foi José Monteiro da Rocha um astro de primeira grandeza, mas felizmente teve logo notaveis successores que continuaram con distincção a sua gloriosa obra, sobre tudo da Ephemeride e estudos correlativos, merecendo especial menção o Dr. Rodrigo de Sousa Pinto, primeiro director com quem tive a honra de servir, que não só se notabilisou pelas suas reputadas publicações, mas tambem pelo grande impulso que deu ás investigações, bastando neste campo para lhe dar gloria, a installação do Circular Meridiano, executado na casa Repsold com minuciosos cuidados e sufficientes dimensões para ainda hoje servir a par dos melhores instrumentos do seu genero. Ao mesmo tempo, porem, instalou tambem aquelle sabio astronomo no primeiro vertical, um universal de Repsold, que logo aproveitou com a maior vantagem para a determinação da latitude do Observatorio Astronomico de Coimbra. Tambem pelo sabio direc-

tor Rodrigo de Sousa Pinto, com o concurso do general Folque, foi determinada a differença de longitude entre o Observatorio de Coimbra e o Observatorio de Marinha de Lisboa, pelo methodo telegraphico, deduzindo—se para a ligação internacional um valor que mais tarde foi corrigido em harmonia com os resultados obtidos pelo methodo chronometrico pela missão americana que veio a Lisboa. Para amplo conhecimento do movimento scientifico do Observatorio Astronomico de Coimbra poderá ser com grande vantagem consultada a valiosissima colleção das suas Ephemerides, importantes artigos publicados no jornal o *Instituto*, e a admiravel memoria historica publicada em 1872 pelo douto professor da Universidade de Coimbra que foi o Dr. Francisco de Castro Freire, em cumprimento da resolução tomada pela Faculdade de Mathematica quando foi resolvido commemorar dignamente a obra immortal que o Marquez de Pombal realisou em 1772, com a reforma da Universidade de Coimbra.

Emfim, ultimo cronologicamente, mas nascido em berço dourado, encimado de corõa real, afilhado do saudoso Rei D. Pedro V, temos o importante Observatorio d'Ajuda. O que foi o valiosissimo apoio prestado pelo jovem, mas inteligente e zeloso monarca, é contado pelo director d'aquelle observatorio no magifico discurso inaugural com que ha quatro annos foram iniciados, no congresso do Porto, os trabalhos da secção de Astronomia. Uma consideração basta para o apreciar. Apesar da morte que prematuramente roubou D. Pedro V. ao respeito e carinho do povo portuguez, a sua acção inicial fõra tão importante, que venceu as dificuldades que surgiram, e o Observatorio da Tapada levantou-se em condições de honrar desde logo a sciencia astronomica. Para este resultado tambem muito contribuiu a superior direcção a que foi entregue do sabio official de marinha Oom, que foi o seu primeiro director, e que pelo ensino e pelo sangue deixou como successores dois homens de alto merito scientifico: o vice-almirante Campos Rodrigues, segundo director, e o actual seu filho, herdeiro das suas distinctas qualidades.

N'aquella memoria, que mereceu o mais vivo aplauso, encontra-se a melhor noticia que possa ser feita d'este notavel estabelecimento, e por isso agora só notarei que tres instrumentos importantes foram desde logo instalados: um Equatorial de quatro

metros de distancia focal, um Primeiro Vertical e um Circular Meridiano construido pela casa Repsold, a mesma que forneceu o circular meridiano de Coimbra, e com o qual Campos Rodrigues, a quem foi entregue, conseguiu os mais notaveis resultados que valeram ao observatorio da Tapada reputação mundial.

* * *

Indicados os estabelecimentos scientificos que em Portugal se dedicam a investigações astronomicas, aos quais ainda deverá acrescentar-se o Observatorio *Campos Rodrigues*, ultimamente instalado na nossa colonia de Moçambique, em Lourenço Marques e o Observatorio de Loanda, resta dar conta da sua laboração actual e em comparação.

É bem sabido que, sejam quais forem as novas directrizes da sciencia astronomica, occupará sempre uma situação primacial a determinação e conservação da hora. Falhando este elemento, os phenomenos physicos, como os acontecimentos humanos, deixarão de ficar encadados por forma a constituirem uma sequencia ordenada, e será impossivel descobrir as leis que regem a successão dos phenomenos, as quais, porque são funções do tempo, imdispensavel é que o tempo tenha sido rigorosamente medido.

A pendula, o circular meridiano e ultimamente o chronographo, são os instrumentos de observatorio adoptados para a execução deste trabalho. Inoportuno seria alargar-me sobre as condições exigidas para que estes instrumentos estejam colocados com toda a vantagem para se conseguir com o maior rigor a hora local, mas devo ainda acrescentar que áqueles instrumentos poderão hoje ser substituidos outros: a pendula, o chronographo e um aparelho receptor de sinais transmitidos pela T. S. F. Sem duvida este processo é muito comodo e muito usado. Não póde porem substituir o classico, num Observatorio Astronomico. que deve possuir sem dependencias, que num momento qualquer podem dar logar a que falte este elemento basilar para todos as observações. De mais há ainda a notar que, talvez em parte por falta do rigor exigivel nas longitudes, a hora obtida pela transmissão da T. S. F. diverge, embora dentro de limites muito reduzidos, da hora obtida directamente,

como observa Mr. Bigourdan, o sabio astrónomo que no observatorio de Paris tem a seu cargo este melindroso assunto. Neste momento para a alta astronomia a T. S. F. serve mais para que a estação central receba a nota das discordancias e se habilite a determinar as causas e as correções que venham a ser deduzidas, do que para poupar trabalho aos Observatorios.

Estas considerações determinaram o Comité da secção nacional (portuguesa) das uniões internacionais de astronomia, geodesia e T. S. F., o qual comprehende todos os elementos que no nosso país interveem oficialmente nestes assuntos, a aconselhar as instalações precisas para que nos Observatorios das Universidades de Coimbra e Lisboa, e da Tapada, sejam recebidos os sinais horarios enviados pelo observatorio de Paris e comparados os resultados com os deduzidos das observações meridianas. Ao mesmo tempo foi tambem resolvido que com toda a brevidade sejam determinados, com o maior rigor que os processos actuais permitem, as longitudes relativas destes observatorios por meio da T. S. F. e da T. C. F., afim de comparar estes processos e determinar as longitudes das mesmas estações em relação a Paris.

Propoe-se tambem aquella instituição, com o concurso da Administração Geral dos Serviços Geodesicos e da T. S. F., occupar-se immediatamente da terminação das coordenadas geograficas dos pontos importantes do paiz, sobre tudo daqueles que interessam á rede geodesica.

Ao mesmo tempo, na distribuição dos serviços pelas diferentes entidades habilitadas para a sua execução, foi resolvido que o da hora ficasse a cargo do Observatorio da Tapada, que constantemente dele se tem desempenhado com o maior zelo e com pricizão igual á dos observatorios mais meticulosos.

A hora será distribuida pela estação central da T. S. F., de Monsanto, admiravelmente instalada pelo comandante Nunes Ribeiro, a qual fica convenientemente ligada ao Observatorio da Tapada para este fim. Para se desempenhar desta missão adquiriu agora este observatorio mais uma pendula Leroy que tem satisfeito cabalmente.

Para colaborar nos serviços horarios e tambem nas observações de posições de estrelas, devendo brevemente principiar o da zona que mais ventajosamente pode aqui ser observada, tem o Observatorio Astronomico de Coimbra finalmente conseguido

as precisas modificações e acrescentamentos. No circular meridiano introduziu-se a iluminação normal das divisões do circulo graduado, e electrica do colimador de mercurio. Dentro de poucos dias deve ser instalado no sistema ocular da luneta um micrometro impessoal, cuidadosamente construido por Mr. Bou-ty, que tem fornecido o Observatorio de Paris de aparelhos semelhantes, que ali estão sendo aproveitados com a maior vantagem.

Alem da Pendula Berthoud, que apesar de vir de tempo da instalação do Observatorio continua tendo uma marcha regular e a prestar os melhores serviços, e que foi ultimamente adaptada pela importante casa Leroy, para ser synchronizada pela pendula principal, possui hoje o Observatorio Astronomico de Coimbra, para este fim, uma pendula Leroy, com pendulo de Invar, de pressão constante, instalada numa cave de paredes duplas, onde mais pendulas deverão ser colocadas, e na qual se conserva uma temperatura constante de 12° , sem necessidade de caloriferos.

Alem de cronografos de sistema M. de resultados aproveitaveis, mas que obrigam a um grande dispendio de tempo, está tambem instalado um cronografo impressor, tipo Gautier, e está concluida a instalação da T. S. F. para telefonia e telegrafia, com detector de lampadas, afim de poderem ser aproveitados os sinais horarios pelo ouvido ou pelo cronografo.

É oportuno registrar que cada um dos tres referidos Observatorios dispõe de um universal de Repsold, do mesmo tipo, em cotovelo (abert. 68 mm. d. f. 0,77 m.), que o Observatorio de Coimbra já aproveitou para a determinação da latitude pelas observações no *Primeiro Vertical*, e que estão tambem preparados para ser usado o metodo Talcott. São os aparelhos destinados á campanha da determinação das coordenadas geograficas.

Da noticia dos serviços que interessam directamente á Terra é natural passarmos áqueles que têm de elucidar-nos sobre a constituição do astro que nos conduz atravez do espaço, e regula a nossa vida pela acção das suas multiplas radiações.

A constituição e movimento da atmosfera solar é sem duvida o problema astronómico de maior interesse para a humanidade, pois dele tem por assim dizer suspensa a vida. A cada momento somos surpreendidos e perturbados pelas pequenas variações que

as condições terrestres experimentam em consequencia daquelas que sobreveem no Sol e que, embora por vezes possam ser de caracter tempestuoso em pouco alteram a normalidade da sua acção, por forma que tambem aquelas variações ficam dentro dos limites em que a vida humana póde subsistir. Mas quando acidentalmente, ou com permanencia, tiverem alteração profunda as condições de existencia do Sol? O que poderá succeder? Não vem a propósito entrar nestas divagações. mas notada a possibilidade de graves accidentes no Sol e a importancia do estudo das suas pequenas variações, comprehende-se o entusiasmo com que a sciencia se tem entregado a esta ordem de investigações.

A observação que já a olho nu se tornou possivel de sombras que empanavam o brilho do Sol, e a confirmação da existencia em determinadas epocas, e em diferentes regiões, dessas sombras, que tomaran o nome de manchas solares, fez perder pouco a pouco a confiança que havia na intangibilidade do fóco dominador do nosso sistema planetário.

As observações em epocas especiaes, como são as dos eclipses do Sol, o uso de instrumentos ópticos, e um trabalho perseverante como foi o do Padre Secchi, pôz a descoberto muitos outros fenomenos. Verificou-se que para a observação integral a superficie do Sol se apresenta rugosa, e com manifestações luminosas designadas por floculos e faculas. Reconheceu-se tambem que a fotosfera é envolvida por uma camada intensamente luminosa, a camada inversora, e por uma elevada atmosfera de que já é possivel examinar a parte inferior pelos processos spectroscopicos, sendo por emquanto a superior, a corõa, observavel sómente durante os curtos priodos dos eclipses totais do Sol.

É bem sabido que devido aos genios de Jansen e Lockyer se tornou possivel observar as protuberancias do Sol fóra da época dos eclipses totais, com a applicação do espectroscopio. Foi uma descoberta do mais largo alcance em que a espectroscopia encontrou por uma forma indirecta uma applicação do mais alto valor, tanto pelos resultados immediatamente obtidos, como pelo novo processo que abriu á investigação scientifica, e que poderosos gé-nios, como os de Deslandres e Hale, logo aproveitaram com a descoberta dos spectroheliographos e dos aparelhos destinados á determinação das velocidades radiais das regiões da atmosfera solar, os quais representam pela sua concepção teorica e se é pos-

sível, ainda mais pela sua execução práctica, uma des mais preciosas maravilhas da sciencia.

De que se trata? Ninguem melhor do que o sábio director do Observatorio de Meudon pôde esclarecer-nos em rápidas palavras. Dos seus admiraveis escritos reproduzirei aqui para este fim um trecho do relatório que apresentou ao *Congrès international des recherches Solaires*, que teve lugar em Meudon, em Maio de 1907.

«Em 1898 Deslandres, instala em Meudon novos aparelhos, primeiro montados em París, desde de 1891 a 1897, na mesma epoca em que com a mesma orientação Hale trabalhava em Chicago, aparelhos que com uma segunda fenda isolam uma radiação simples ou uma pequena porção do espectro, e fazem ver não só as protuberancias e a chromosfera do bordo exterior, mas tambem a atmosfera gazona interior ao bordo em projecção cincoenta vezes mais extensa. Estes aparelhos, que podem ser designados com o nome generico de espectro-registradores, revelam igualmente as formas, as velocidades radiais dos vapores, os spèctros propriamente ditos, isto é, a composição quimica, e podem tambem pôr em evidencia os montões de particulas da atmosfera. Os espectro-registradores das formas são ordinariamente chamados spectroheliografos. Lembra um aparelho imaginado e ensaiado em 1869 por Mr. Jansen para a observação ocular das protuberancias. Estes novos métodos, inaugurados desde 1892 a 1894 por Hale e Deslandres, abrem á investigação um campo extremamente extenso. Eles revelam sobre o disco vapores até hoje visíveis sòmente no bôrdo, e além disso vapôres mais baixos, muito mais numerosos, que são invisiveis no bôrdo por causa da sua fraca saliência, Fornecem uma imagem do Sol não só com as riscas brilhantes H_2 e K_2 , particularmente interessantes, mas tambem com cada uma das 20.000 riscas negras do espectro e com as diferentes partes de uma mesma risca negra.»

Dois tipos diversos teem sido adoptados para os spectroheliografos. De objectiva de projecção e câmara fotografica fixa e aparelho spectroscopico movel; ou esta parte fixa e a objectiva da projecção e a câmara fotografica movéis. Em qualquer dos casos é indispensavel um aparelho, o coelostato, que forneça numa determinada direcção, uma imagem do Sol não girante, como succede á dada pelo heliostato.

São do primeiro tipo os grandes aparelhos dos colossais ob-

servatórios dos Estados Unidos da América do Norte, e também, e curioso, o da maior parte dos aparelhos de menores dimensões e mais usados, como, entre outros, aquêles que se encontram nos Observatórios de Madrid, Tortosa e Nice. Não é agora ocasião de explanar êsses processos ; e as instalações em que são applicados. Comtudo não passarei sem uma referência especial ao mais monumental dêsses aparelhos, instalado por Halle no *Observatório* do Monte Wilson, colocado sôbre êste monte da California a cêrca de 2.000 metros sôbre o nivel do mar, e onde a audácia humana instalou o mais potente telecópio existente, com um espelho de 2, m50 de diâmetro, que sem a montagem pesa quatro toneladas e meia e do qual a massa arrastada pelo movimento de relojoaria atinge 100 toneladas e a cupula giratória 500. Para a instalação do spectroheliógrafo dispõe o Observatorio de uma tôrre de 50 metros de altura e um pôço de mais de 24, sendo os raios solares aproveitados na direcção da vertical. Teem sido certamente de grande valôr as descobertas alí conseguidas e o atual Director, sabio astrónomo, Mr. Saint John, pressidente da U. A. I., prossegue interessantes investigações tendo, entre outros resultados, apurado a existência da variação dos comprimentos de onda das riscas, segundo a observação é feita sôbre o centro ou bordos do Sol. No entanto é certo que a situação dêste instrumento não satisfaz hoje completamente aos seus autores, devido ás correntes de convecção que se formam nas encostas da montanha, passadas as primeiras horas do dia, e Mr. Hale, por êste motivo, trata nêste momento de uma instalação semelhante no sopé da montanha. Ê também para notar que as melhores imagens não são superiores áquelas que teem sido obtidas por Mr. Deslandres, que encontrou em Mr. d'Azumbuja, descendente de portugueses, um precioso colaborador, com um instrumento de menores dimensões, embora já consideraveis, mas que tem sôbretudo uma maior elasticidade na acomodação às exigências das meticulosas operações a que é destinado.

Estas considerações determinaram-me logo em 1907, quando tive ocasião de visitar os principais observatórios da Europa, exactamente com o propósito de conseguir para o Observatório Astronómico de Coimbra uma instalação para o estudo do Sol, pelo segundo tipo de spectroheliógrafo, sabiamente imaginado por Mr. Deslandres. Mal imaginei então quanto seriam enormes as dificuldades a vencer e as contrariedades a sofrer.

Porém em 1912 Mr. Deslandres pela forma mais cativante, sempre do seu uso, poz-me a disposição todo o seu apoio para a realização desta obra. O seu inestimavel auxilio chegou ao ponto de nos oferecer algumas peças de construcção mais melindrosa, que fôram executadas nos ateliers do Observatório de Meudon, e de nos ceder uma objectiva de projecção até chegar a que finalmente já está para nós construída, ao fim de 12 anos, e até de ter conseguido que pelo Governo Francês fôsse enviado a Coimbra, expressamente em missão para se proceder à instalação definitiva do nosso spectroheliografo, Mr. d'Azumbuja, a quem há pouco me referi, e que, ainda jóven, muito honra já a Sciência francêsa.

Emfim no dia 12 de Abril, e ao cabo de 13 anos de porfiada luta, como tão amavelmente me lembrava numa das suas últimas cartas Mr. Deslandres, que constantemente me acompanhou durante êsse período com a sua mizade, de que eu, há muito desprendido de vaidades, tenho justificado orgulho, fôram tiradas com o grande spectroheliografo do Observatório Astronómico de Coimbra, construído com as mesmas características do grande spectroheliografo do Observatório Astronómico de Meudon, as primeiras imagens monocromáticas do Sol, aproveitando-se a risca K_3 , a mais difficil de isolar, nas quais apareceram as protuberâncias e filamentos demonstrativos da actividade solar. Com êstes resultados terei satisfeito um pouco os votos que José Falcão, meu sábio e saúdoso mestre, me endereçou ao impôr-me as insignias doutorais nesta mesma sala, lembrando-me os vultos que fôram José Monteiro da Rocha, o General Valde e Rodrigo de Sousa Pinto.

Aos meus sentimentos de respeito e saúdade por êste sábio mestre acrescentarei tambem o restemunho da minha profunda gratidão a todas as pessoas que contribuíram, e algumas de modo muito eficaz, para que esta obra pudesse ser levada ao fim, e especialmente a Mr. Deslandres que, já em 1922, no relatório que apresentou em nome da 6ª Comissão de Observação do Sol, ao Congresso da União A. I. e, mesmo neste momento, lem manifestado o seu maior empenho para que o Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra apresente já, no Congresso da mesma União que no próximo mês de Julho vai reúnir em Cambridge, as imagens do Sol aqui obtidas.

E agora confio em que êstes desejos terão completa realiza-

ção, e desde já o nosso Observatório possa colaborar nos trabalhos mundiais de investigação solar. Os meus agradecimentos vão também para Mr. d'Azambuja que, com o maior carinho e saber, tem acompanhado os nossos trabalhos.

Nove peças independentes prestam nesta observação o seu concurso para se obter a desejada imagem, com um motor de relojoaria e quatro motores electricos.

O coelostato, que fornece o feixe luminoso na direcção horizontal meridiana, foi construído pelo hábil engenheiro Mr. Prin, com todos os aperfeiçoamentos modernos, sendo muito fácil com o auxílio de motores electricos a acomodação do segundo espelho. Os espelhos de 40 centímetros de diâmetro foram construídos por Mr. Jobin, reputado engenheiro oculista. A objectiva da projecção, do mesmo construtor, mereceu os mais meticulosos cuidados: tem 25 centímetros de abertura e 4 metros de distância focal. A objectiva da câmara fotografica de $0,115 \times 3m$ também foi construída por Mr. Jobin, a do colimador de $0,115 \times 1,120$ e os prismas de 15 centímetros pela casa Zeiss, as fendas, camera photographica e parafusos micrometricos por Mr. Prin. Os motores foram construídos pela casa Carpentier, e as peças que transmitem os movimentos pela *Société Genoveise de physique*. Os motores são synchronizados e consegue-se a uma distancia qualquer, dois movimentos continuos exactamente proporcionais, podendo variar a relação das velocidades. Cuidados meticulosos são precisos todas as vezes que é necessario operar, bastando notar que para se obterem trabalhos perfectos é indispensavel em algumas posições levar a precisão á centesima do milimetro. As imagens difinitivas tem um diametro de cerca de 9 centímetros.

Brevemente deve ser instalada a parte complementar d'este aparelho, destinada a fornecer as velocidades radiais.

Do Sol passarei ás estrelas sem me deter no systema planetario onde tanto ha que observar, e no qual tive a fortuna de encontrar alguns resultados interessantes por ocasião do eclipse de 1912, os quais me permitiram estabelecer doutrina nova relativamente á forma da Lua, e a existencia provavel de uma atmosfera densa no fundo dos vales lunares, conclusão mais tarde igualmente tirada no Observatorio de Greenwich da observação de uma occultação.

São bem conhecidos os multiplos problemas que á observação astronomica oferece o estudo das estrelas, pondo mesmo de

parte aqueles que se referem á sua posição, e é interessantissimo o estudo das nebulosas, mas para uns e outros tornam-se precisos instrumentos mais dispendiosos do que os destinados ao estudo do Sol, que é generoso em luz.

Comtudo alguns trebalhos podem ser ventajosamente realisados com instrumentos de regulares dimensões, e no Observatorio da Tapada tem sido aproveitado o equatorial para as observações de estrelas duplas, e tanto naquele Observatorio como no Observatorio Astronomico da Universidade de Lisboa é regularmente feita a observação de oçultações, preparando-se este ultimo para tambem se ocupar de obervações espectroscopicas de estrelas.

No Observatorio Astronomico de Coimbra acaba de ser instalado, na cupula central, um equatorial para a observação spectrographica das estrelas pelo processo do prisma objectiva. O aparelho foi estudado por mim e a sua construção combinada, em successivas viagens que fiz a Inglaterra, com Sir Grubb, o notavel constructor inglez, que lhe dedicou uma especial atenção, indispensavel por causa da deslocação dos raios luminosos pelo prisma complicar a disposição parallatica.

Devi tambem ao antigo Director do Observatorio do Cabo, Sir Gill, de saudosa memoria, uma valiosa coadjuvação, por ter tomado grande interesse pela construção deste instrumento, caracterisado por um prisma de 27 centímetros de aresta, o maior que foi possivel obter, destinado a cobrir uma objectiva de 15 centímetros de abertura e um metro de distancia focal.

Sem duvida o sistema da fenda pode ter mais larga applicações do que o prisma objectivo, mas a despesa a fazer para adquirir un instrumento daquela ordem comparavel aos que estão em uso noutros observatorios deveria ser consideravel. O aparelho instalado no Observatorio Astronomico de Coímbra, subordinado ás dimensões do prisma, tem a vantagem de não exigir grande objectiva nem exageradas dimensões, e fornecer resultados de alta importancia para a Sciencia Astronomica, o que as provas obtidas já nos asseguram.

No Observatorio de Harvard encontra-se instalado um instrumento do mesmo typo, do qual só ultimamente tive conhecimento, tendo e nosso spectrographo stellar sido encomendado por mim antes da guerra. E felizmente que ao principiar este cataclismo a sua construção já estava adeantada. Doutro modo tarde

seria possível obter-lo porquanto a casa Grubb, especialista neste genero de trabalhos, devido ás questões operarias, tem a sua laboração consideravelmente reduzida, e com tristeza observei, quando ha dois anos visitei os seus importantes ateliers, em St. Alban, que só se encontravam no trabalho as pessoas da familia. Ao mesmo tempo aumentam constantemente as dificuldades para se conseguirem peças opticas de grandes dimensões, do que temos a experiencia com a objectiva de projecção do nosso grande spectroheliographo.

Do importante aproveitamento daquele spectrographo, semelhante ao nosso, facilmente pode ser feita ideia sabendo-se que com este aparelho se obtem em cada chapa um conjunto de spectros de estrelas que já tem atingido o milhar. A diversidade dos spectros, em intensidade e em riscas de absorpção, permite a classificação das estrelas, e já em 1916 tinha o Observatorio de Harvard classificado 226.000.

Terminarei aquí esta rapida exposição, sufficiente em todo o caso para demonstrar o empenho com que os elementos que em Portugal se dedicam a Sciencia Astronomica empregam o seu maior esforço, e desinteressada dedicação, no intuito de contribuir para que Portugal se desempenhe neste ramo scientifico da sua missão, honrando o mais possível as tradições que nos foram legadas.

Boletín de la
Asociación de Astrónomos y Geógrafos

DISCURSO INAUGURAL

II

DISCURSOS

DE

INAUGURACIÓN DE LAS SECCIONES

LEÍDOS EN LOS DÍAS 15 Y 16 DE JUNIO DE 1925

The first part of the document is a general introduction to the subject of the study. It discusses the importance of the research and the objectives of the study. The second part of the document is a detailed description of the methodology used in the study. It includes information about the sample size, the data collection methods, and the statistical analysis used. The third part of the document is a discussion of the results of the study. It compares the findings to previous research and discusses the implications of the results. The final part of the document is a conclusion and a list of references.

The methodology used in this study was a combination of qualitative and quantitative methods. The qualitative methods included interviews with experts in the field and a review of the literature. The quantitative methods included a survey of a large number of participants. The data were analyzed using statistical software and the results were compared to previous research. The findings of the study are discussed in detail in the following section.

The results of the study show that there is a significant relationship between the variables studied. The findings are consistent with previous research and have important implications for the field. The study also identifies some limitations and suggests areas for future research. The conclusion of the study is that the research has provided valuable insights into the subject and has contributed to the understanding of the field.

Sección 2.^a

ASTRONOMÍA Y FÍSICA DEL GLOBO

DISCURSO INAUGURAL

POR

VICENTE INGLADA ORTS

TENIENTE CORONEL DE ESTADO MAYOR E INGENIERO GEÓGRAFO. PROFESOR DE ASTRONOMÍA Y GEODESIA EN LA ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA

La colaboración íntima en los trabajos de investigación, condición indispensable del rápido progreso de las ciencias telúricas.

SEÑORES :

La suma benevolencia de los compañeros de esta Sección, y ante todo la de su ilustre Presidente, D. Antonio Vela Herranz, me obligan, con este discurso inaugural, a iniciar la labor de Astronomía y Física del Globo en el X Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, que en fraternal colaboración celébrase en esta bellísima ciudad lusitana. Tan ineludible requerimiento de los compañeros explicará lo que en otro caso sería vanidad o audacia, ya que no corresponde a mis pobres facultades ocupar un puesto que honraron, con sus discursos magistrales, tantos hombres de ciencia. Al agradecer profundamente honor tan grande como inmerecido, confío en vuestra indulgencia, que habrá de extremarse en el presente caso para disculpar el poco valor científico de este modestísimo trabajo.

• • •

Entre las ciencias que afanosamente cultiva el hombre, pocas ofrecen el atractivo natural, el interés y alcance de las que se dedican al conocimiento, imperfecto aún, de nuestro planeta. Esta morada permanente, que tantas bellezas y misterios contiene, es la base obligada de nuestras investigaciones para formar cabal concepto del sistema cósmico a que pertenecemos. Al dirigir la mirada hacia el exterior, el hombre advierte que está sumergido en un océano gaseoso invisible, capa atmosférica de no muy grande espesor, cuyo estudio corresponde a la Meteorología. Más allá, la vista se recrea en la contemplación del espacio indefinido, poblado de innúmeros y lejanos astros, de cuyos movimientos regulares y majestuosos conoce el hombre las leyes principales, gracias a los esfuerzos de la Astronomía, la ciencia de más vasto dominio, cuyas ingeniosas y precisas observaciones nos han dado la clave de tantas maravillas celestes.

Si abandonando este grandioso campo volvemos los ojos al suelo que nos sustenta, entramos en el dominio de una ciencia importante, la Geografía, consagrada al estudio del estado actual de la superficie terrestre, y por hallarse ésta última dividida en dos porciones de carácter distinto, la tierra firme y la hidrosfera, admite una separación de sus conocimientos: morfología, fisiografía, orografía, por una parte, e hidrología y oceanografía, por otra.

Si del estudio descriptivo actual de la superficie terrestre nos remontamos al de las épocas pasadas para llegar al conocimiento de su formación, desarrollo y estados sucesivos por que ha pasado hasta adquirir el que hoy se observa, entramos en el dominio de otra ciencia, tan reciente como trascendental: la Geología, con sus subdivisiones: Mineralogía, Petrografía y Tectónica, por un lado, y Estratigrafía y Paleontología, por otro, para no citar más que las principales.

En realidad, el estudio tanto geográfico como geológico de nuestro planeta se contrae a sus capas más superficiales; si queremos, no obstante, ajustarnos al amplio contenido etimológico de la Geografía y Geología habría que pensar en una clasificación racional de la ciencia de la Tierra, atendiendo a las dos partes fundamentales de la masa del Globo: la corteza y el núcleo, pues las investigaciones más recientes (1), tanto de orden geodésico (gravimetría, isostasia, desviaciones de la vertical), como las sismométricas (condiciones de propagación de

las ondas elásticas producidas durante los sismos) acusan un contraste marcadísimo de constitución entre la corteza, película exterior, de espesor reducido (unos 100 kilómetros), que desde la superficie física de la Tierra se extiende hasta la llamada de compensación isostática, y el núcleo potentísimo que llega hasta el centro del Globo, de estructura perfectamente regular, con disposición hidrostática de sus capas, y en que la materia nos recuerda la condición isótropa. Esta subdivisión fundamental obedece a los rasgos característicos principales, pues la potente masa que sustenta la corteza terrestre o litosfera está integrada por otros tres dominios, de espesor creciente con la profundidad, que son: la barisfera, la capa intermedia y el núcleo propiamente dicho, o región central del Globo, con su radio de 3.500 kilómetros, en números redondos.

Esta ciencia dedicada al estudio de las capas profundas de nuestro planeta adquiere cada vez más importancia, pues las observaciones sismométricas se perfeccionan rápidamente y acopian datos muy precisos de ciertas propiedades de la materia en esas regiones inaccesibles, y las leyes y teorías que regulan la interpretación de los sismogramas son de cálculo tan seguro que Kövesligethy considera a esta ciencia como una Astronomía subterránea.

Este nombre apropiado nos sugiere una división simétrica de los dominios científicos cuyo límite común es la superficie terrestre: por un lado, la Astronomía, de campo exterior, transparente e infinito, y por otro, la Endogeología, si se nos permite la denominación, de dominio interno, invisible y limitado.

Aun cabría cortar otros dos dominios, de orden secundario, de campo más reducido, pero accesibles en parte a la directa observación de nuestros sentidos, separados también por la superficie física de nuestro Globo, en la que se dan cita tantas disciplinas científicas: la Meteorología, por la parte exterior, y la Fleogeología o Gefleología (*), ciencia de la corteza, por la parte interna.

El estudio de estas porciones del Globo, que hemos delimitado, no puede separarse de los fenómenos que en ellas ocu-

(*) Del griego *ελείος* *phloios*, latín *phloeós*, castellano *fleos*, corteza. Esta voz con la significación de corteza terrestre aparece ya usada por Aristóteles en su Meteorología (Didot, tomo 3.º, pág. 624).

ren, y así, al concepto puramente descriptivo, estático, si vale la expresión, se añade el fecundo concepto dinámico, que en lugar de estudiar la variación en el espacio explora la que ocurre en el tiempo, y al que van correspondiendo nuevas subdivisiones de la ciencia telúrica. Como lazo común o quizá, más bien, matriz de todas ellas, citaremos la Geofísica, de reciente formación, en cuanto al nombre, no rigurosamente ajustado a sus investigaciones, ya que no faltan fenómenos en la alteración de las rocas, así como en su consolidación, en la transformación de las sustancias radioactivas, en las erupciones volcánicas, por no citar más que algunos casos característicos, donde actúan procesos de marcado origen químico.

Esta importantísima ciencia, de porvenir tan brillante, descartados los trabajos puramente meteorológicos u oceanográficos, se ha dedicado hasta ahora preferentemente al estudio de los fenómenos que tienen asiento y teatro a la vez en la misma faz de la Tierra o en sus capas superficiales, pues sólo su novísima rama, la Sismometría, explora las capas profundas de la Tierra, de modo que hoy por hoy esta pomposa Física del Globo más bien es una modesta Fleofísica o Física de la corteza, como lo pueden atestiguar los trabajos de sus numerosas subdivisiones: Geografía física, Geología dinámica, Magnetismo terrestre, Gravimetría, Geodesia dinámica...

En relación común con todas ellas y ofreciéndoles el conocimiento preciso de la forma y dimensiones de ese dominio superficial en que concurren sus investigaciones está la Geodesia, consagrada a los procedimientos de medida, de cálculo y representación que determinan las condiciones geométricas de toda la superficie terrestre o de porciones de ella, grandes o pequeñas, arbitrariamente elegidas. Claro está que esa superficie terrestre de que se ocupa la Geodesia no es la misma a que se refieren las investigaciones geográficas, geológicas y geofísicas, de cuyo trazado minucioso se encarga la Topografía, sino la superficie potencial de la Tierra, prolongación ideal del nivel medio de los mares a través de las masas continentales e insulares. Tal ha sido el concepto geodésico hasta ahora; pero los progresos rapidísimos de esta ciencia han llevado a Buchwaldt (2) a ampliar el campo de las investigaciones geodésicas y a asignarle como cometido el estudio de la forma exterior de la Tierra y de su estructura interna, limitada ésta última,

en verdad, a la distribución de las masas en el interior del Globo, o sea a la variación de la densidad de los puntos terrestres en función de sus coordenadas. Y no ha parado en esto la audaz reforma que aporta a la ciencia el genio del malogrado Geodesta, pues paralelamente a la necesidad sentida por las ciencias geográficas, geológicas y geofísicas, que las ha llevado a subdividirse, ha creído llegado el momento de separar los dos campos de la Geodesia estática y dinámica, de cuyos métodos y resultados os habló elocuentemente en el Congreso de Salamanca el sabio catedrático D. Honorato de Castro al inaugurar de modo más lucido que lo hace mi modesta persona las tareas de la Sección de Astronomía y Física del Globo, en su substancioso discurso, titulado «Orientaciones modernas de Geodesia estática».

Aunque pudiera extrañar que la Geodesia ofrezca su base y colaboración a las ciencias telúricas en el estudio de los fenómenos físicos, pues en la parte descriptiva sus conocimientos son evidentemente indispensables, algunas consideraciones, breves por la reducida extensión de este discurso, os habrán de convencer de la necesidad del concurso geodésico.

El conocimiento preciso de la forma y dimensiones de nuestro planeta es indispensable en la explicación de multitud de procesos, que sólo cabe concebir teniendo en cuenta el considerable radio medio de la Tierra. El estudio de algunos fenómenos geodésicos o geológicos está supeditado a que el proceso sea elástico o hidrostático. Hay numerosos hechos que abogan por una viscosidad de las capas profundas del Globo, en tanto que observaciones recientes y de distintos campos acusan una rigidez media del globo mayor que la del acero. Investigaciones de índole geodésica, y las que se relacionan con la condición isostática, parecen admitir la existencia de capas en la base de la corteza, con cierto grado de pastosidad, como si la materia pudiera allí fluir, y las contradicciones, sólo aparentes, que al examinar estos hechos diversos pudieran originarse, desaparecen al tener en cuenta las considerables dimensiones de nuestro planeta.

Una bola de acero de radio muy pequeño, como las empleadas en los experimentos de Física, actúa como un cuerpo absolutamente rígido; pero si su radio, como el de la Tierra, tiene nada menos que 6.370 kilómetros, será plástica a causa de su pro-

pía fuerza atractiva, siempre que a esta plasticidad le demos tiempo bastante (transcurso de muchos siglos) para que sus efectos puedan hacerse perceptibles. Imaginémonos un continente cuyo borde sea de acero: la parte superior de esta gigantesca muralla se conservará rígida; pero su base, a causa de la enorme carga que soporta, se ablandará y extenderá, desbordando lateralmente.

La existencia de una capa continua de magma fundido que se extendiera por todo el Globo, sirviendo de base a la corteza, hipótesis a que se han inclinado ilustres geólogos, lleva, según los cálculos de Love (3), a valores inaceptables para la resistencia de la corteza, y lo único que cabe admitir es que dichas masas magmáticas sean, a lo sumo, de extensión continental.

En los problemas donde juega primordial papel el mayor o menor grado de rigidez de las masas terrestres, éste se halla subordinado, por un lado, a sus dimensiones, y por otro, a que la actuación sea lenta o rápida, ya que los fenómenos que ocurren en nuestro Globo resultan de la acción de fuerzas diversas, unas que obran con rapidez suma, como en los sismos, con duraciones de minutos y aun de segundos; otras que actúan más lentamente, como pasa con las mareas, que abarcan horas o días, o meses enteros, si se trata de los cambios de posición de la línea de los polos, y para las cuales la corteza terrestre y aun la masa total de nuestro Globo pueden comportarse como dotadas de gran rigidez, mientras que en otras clases de fuerzas, de proceso extraordinariamente lento (transformaciones de carácter geológico y cambios de la velocidad de rotación por acciones cósmicas), pueden actuar como flúidos, lo que explicaría la concepción isostática con el equilibrio hidrostático de las capas del núcleo, no obstante su gran rigidez media, igual o mayor que la del acero, según muestran de acuerdo las observaciones sismométricas, el estudio del movimiento del eje terrestre, las mareas oceánicas y las de la corteza terrestre.

Es evidente también que la actuación de las masas terrestres sería distinta en esa clase de fenómenos si el radio de nuestro planeta fuera sólo, por ejemplo, de unos 100 kilómetros, en lugar de los 6.370 que tiene en promedio.

No se limita a esto el concurso eficaz que la Geodesia presta a las ciencias telúricas al precisarles las dimensiones de nuestro planeta: las magnitudes a que se refieren las medidas geodési-

cas, especialmente las relativas a la intensidad de la gravedad, dependen muy directamente de la constitución de la Tierra, considerada en conjunto, y en particular de la de su corteza, pues la distribución de las masas juega papel predominante. En tales condiciones, como los resultados que se derivan de estas observaciones son, cuantitativamente considerados, de una extrema precisión, toda teoría o hipótesis acerca de la constitución de la corteza terrestre, que es la base de la explicación de los fenómenos geofísicos, ha de tomar como datos las medidas geodésicas (4), y de este modo la Gravimetría abarca dos dominios distintos: uno puramente geodésico, relacionado con su problema fundamental de determinación de la figura de la Tierra, y otro geofísico, que atañe al estudio de la distribución de las masas en la corteza, y, ¡caso curioso!, la balanza de torsión, con su precisión extremada, que aprecia unidades del noveno orden decimal de dina, se presta más por sus indicaciones, a la resolución de multitud de problemas de Geología práctica que a la determinación de las superficies de nivel del campo gravitatorio terrestre, como si el aparato se rebelara donosamente contra la férrea división que el hombre establece al separar los conocimientos científicos afines y encontrara humillante el servir solo como instrumento geodésico.

El campo de trabajo de las ciencias que se dedican al estudio de la constitución de nuestro Globo y de los fenómenos que se verifican en sus capas superficiales es único y continuo, por mucho que el hombre se empeñe en dividirlo en distintos compartimientos, que, a causa de nuestras limitadas fuerzas intelectuales y de la escasa duración de nuestra vida, confía a otras tantas ciencias, cuyos límites de demarcación obedecen a razones convencionales y arbitrarias, no a diferencias fundamentales que estriben en la esencial diversidad de los fenómenos.

Para convencerse de ello, no hay mas que fijarse en las etimologías o primitivos significados de las ciencias telúricas y en lo que han evolucionado en el decurso del tiempo. ¿Cómo hay que entender el cometido de la Geología, que significa etimológicamente *tratado de la Tierra*? ¿No tratan de ella también las demás ciencias geográficas, geodésicas y geofísicas? ¿Qué queda de la primitiva significación de la Geodesia, división de la Tierra, como no sea el indicar las partes en que hay que dividir un territorio para que en cada una entre la Topo-

grafía, con sus procedimientos ordinarios de levantamiento, al suponer despreciable la curvatura terrestre por la pequeña extensión en que se efectúan sus operaciones? ¿Quién podrá recordar la significación etimológica de la Geometría, al leer la definición que de ella ha dado nuestro ilustre matemático Rey Pastor? (5): «Es el estudio de las propiedades de una variedad continua de elementos dados, las cuales son invariantes respecto de un grupo de transformaciones definido en ella.» Aquí la Tierra ha desaparecido por completo, aunque el nombre de la Geometría empiece por ella.

No hace falta seguir comparando la significación del nombre de cada ciencia y el dominio actual de sus investigaciones, que ha sufrido tan profunda variación. Todos esos nombres, que designan compartimientos arbitrarios que el hombre ha ido delimitando en nuestro Globo, tienen un principio común, y un principio común también, el de colaboración íntima, ha de regir las investigaciones de todas esas ciencias hermanas, que tienen el mismo campo de trabajos: para estudiarla, tanto necesitará recorrer la superficie terrestre el geólogo como el geógrafo, el geodesta como el geofísico. No una simple curiosidad llevará a cada uno de ellos a enterarse de la labor de su compañero, que hace observaciones o reconocimientos en la misma zona que él recorrió días o meses antes y volverá a recorrer días o meses después. Será necesidad apremiante la que le impulse a enterarse de las investigaciones de sus compañeros, pues sin conocerlas el estudio que él haga de un cierto fenómeno será fragmentario, incompleto, y no acertará a explicarse sus causas, su origen, su formación y desarrollo y la manera de propagarse en la litosfera y los efectos en ella producidos.

El progreso de las ciencias telúricas no ha sido más rápido y fecundo por haberse empeñado los hombres en cultivar separadamente sus campos de actividad, cerrando los ojos o no prestando atención profunda a la labor conquistada por sus compañeros.

¿Cuántos descubrimientos, relativos a la constitución interna del Globo y aun de las capas superficiales de la corteza terrestre, que interesan de modo especial a la Geología, no cabe esperar, si nos atenemos a sus fecundas conquistas (6), del estudio de la propagación de los sismos con aparatos sensibilísimos, que se ha iniciado sólo en estos últimos años, hasta el

punto que la Sismometría de precisión se puede decir que es ciencia del siglo xx?

¿Cuántos progresos no cabe esperar de la Gravimetría moderna, basada en medidas también de precisión extraordinaria, cuyo concepto isostático, afirmado por el cálculo de la Geodesia superior, irradia a todas las demás ciencias telúricas y ofrece amplio sustento a la explicación de los problemas de palpitante actualidad, como el de la orogenia, por no citar más que un caso?

¿Qué diremos también de tantas y tan brillantes investigaciones geofísicas, que al explicarnos las condiciones de rigidez y de distribución de las masas terrestres hacen tambalearse a ciertas fugaces teorías geológicas, como la de la contracción terrestre por enfriamiento, tan en boga en tratados admirables y que parece casi arrasada ya (7) por el empuje inexorable de la crítica científica de estos últimos años?

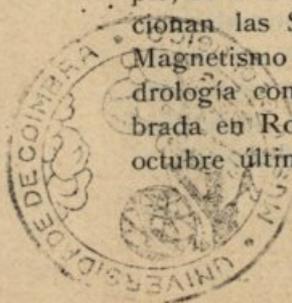
Abrid un tratado de Geología moderna: salvo contadas excepciones, observaréis que no se resumen en él los resultados más recientes de las ciencias geodésicas y geofísicas. Acaso al hablaros del elipsoide terrestre os presentarán las dimensiones obtenidas por Bessel, nada menos que en 1841, como si la Geodesia no hubiera desde entonces dado paso alguno hacia la resolución de su fundamental problema; no hablemos de desviaciones de la vertical, de la reducción de las observaciones gravimétricas, por ejemplo. En su notable trabajo «Die Mediterraneanen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustande der Erdrinde» (las cadenas de montañas mediterráneas en relación con el estado de equilibrio de la corteza), Kossmat hace un estudio de aplicación de las anomalías de la gravedad en la superficie terrestre a la génesis de las cadenas mediterráneas, en que trata multitud de cuestiones geodinámicas de palpitante interés, de orden orogénico, y aquí la sola colaboración de la Geodesia o Geofísica y de la Geología realiza el milagro de dar mayor alcance y fecundidad a la investigación. Para este trabajo no se necesita utilizar fórmulas complicadas ni teorías difícilísimas de la Geodesia superior, sino valerse del trazado de las anomalías de la gravedad en el territorio considerado. Sin embargo, Kossmat, en unas notas preliminares, se considera obligado a dar algunas explicaciones de carácter muy elemental acerca de lo que son las distintas anomalías de la gravedad, según la corrección que se aplique al valor observado, y

justifica el dar estas sencillísimas nociones diciendo que en los tratados de Geología estas cuestiones gravimétricas se tratan muy a la ligera.

Este ejemplo que se refiere a la Geología se puede repetir con relación a la Geodesia. En los tratados de esta ciencia se observa concisión extrema o supresión completa de las cuestiones geológicas, como si en todo estudio geodésico, en que por hacer la reducción al nivel del mar de la magnitud observada hay que partir de una cierta hipótesis acerca de la distribución de masas en la corteza terrestre, no fuera de importancia suma conocer al detalle lo que la Geología haya podido averiguar acerca de la constitución de los estratos rocosos superficiales.

Casos hay, sin embargo, en que los investigadores se han dado perfecta cuenta de la compenetración de los conocimientos telúricos y han aplicado el principio fecundo de la colaboración de ramas científicas hermanas. En su notable trabajo «Investigations of gravity and isostasy», publicado por el Coast and Geodetic Survey de los Estados Unidos en 1917, el eminente geodesta M. William Bowie, dedica un capítulo muy interesante al estudio de las relaciones entre las anomalías de la gravedad y la formación geológica en que está enclavado el lugar de observación. En otro estudio, aún más reciente (1924) y no menos importante, titulado «Isostatic investigations and data for gravity stations in the United States established since 1915», el ilustre geodesta hace un resumen de los resultados obtenidos por las investigaciones isostáticas para probar el alcance extraordinario de esta fecunda teoría, y la compenetración de las consideraciones es tan íntima que no se sabe apreciar cuál es la parte más importante del trabajo, si la geodésica, la geofísica o la geológica.

Afortunadamente, las modernas organizaciones científicas tienen muy en cuenta la necesidad de esta colaboración de las ciencias telúricas, y ahí está, para no citar más que un ejemplo, la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, en que funcionan las Secciones de Geodesia, Sismología, Meteorología, Magnetismo terrestre, Oceanografía física, Vulcanología e Hidrología continental, cuyas dos Asambleas generales, la celebrada en Roma en mayo de 1922 y la segunda en Madrid en octubre último, han sido dos éxitos rotundos por la importan-



cia de las cuestiones científicas debatidas y de las resoluciones adoptadas.

En Roma hubo el peligro de que, recordando antiguos precedentes, se quisiera separar la Geodesia de la Geofísica, y una voz elocuente y autorizada, la del sismólogo italiano Sr. Rizzo (11), se alzó en defensa de la unión de esas dos importantes ciencias telúricas.

El eminente sismólogo puso de manifiesto, que si en el campo de la Geodesia clásica podría no encontrarse gran relación con las cuestiones geofísicas, aunque en realidad el concurso de la Meteorología resulta indispensable en el estudio de la refracción atmosférica y el de la Oceanografía en la determinación del nivel medio de los mares, el caso es muy distinto cuando se entra en el campo de investigaciones de la Geodesia moderna.

Aun en su problema fundamental de la figura de la Tierra, el teorema de Stokes, al aplicar las medidas de la gravedad a la determinación de la superficie del geoide, requiere, como es sabido, que el cuerpo que se considera esté limitado por una superficie de nivel. La de los mares cumple bastante bien con esta condición; pero la superficie física en la tierra firme dista mucho de satisfacer a ella, y esto obliga, como es natural, a referir las medidas de la intensidad de la gravedad al nivel del mar, o sea a corregirlas del efecto debido a la acción atractiva de los estratos que están por encima del nivel del mar, y como las correcciones topográficas, debidas a la acción de estas masas visibles, no hacen desaparecer las anomalías gravíficas observadas realmente, ni las desviaciones de la vertical (en estas últimas se da el caso curioso de que las correcciones topográficas son bastante mayores que las desviaciones observadas), el geodesta se ve obligado, mal que le pese, a estudiar la acción de las masas profundas de la corteza terrestre, o sea que necesita conocer la distribución de estas masas, las superficies de discontinuidad y el espesor de la capa isostática.

De modo que la Geodesia ha de tener en cuenta las propiedades y constitución de las capas situadas a unos 100 kilómetros de profundidad por debajo del nivel del mar, cuando las investigaciones geológicas se contraen a profundidades mucho menores, y esto, fijaos bien, no es para las cuestiones del amplio campo de la Geodesia de Buchwaldt, sino modestamente

para resolver su primer problema: el de la determinación de la figura de la Tierra. Los que creen que la Geodesia no debe ocuparse en la distribución de las masas subterráneas condenan esta ciencia a impotencia absoluta, ya que le quitan los medios de resolver su problema fundamental: el de la figura de la Tierra.

Para procurarse esos datos indispensables de la distribución interior de masas, la Geodesia se vale de las medidas del péndulo, de la balanza de torsión, del magnetómetro, del sismógrafo. ¿Quién podría, pues, separar las investigaciones magnéticas y sísmicas de las puramente geodésicas?

En otras cuestiones los lazos de unión de la Geodesia y de la Geofísica son aún más íntimos. Pada no tratar más que un caso citaremos el de los movimientos periódicos del suelo, debidos a la variable atracción lunisolar, a la variación de carga de las mareas oceánicas o a las causas meteorológicas. Al estudiar estos interesantes fenómenos no se sabe en qué campo despliega su actividad el investigador. ¿Son trabajos puramente geodésicos, en cuanto se estudian desviaciones de la vertical, o sísmológicos, puesto que se emplean en estas observaciones los mismos tipos de aparatos destinados al registro de los sismos lejanos? ¿Son trabajos puramente meteorológicos, ya que influyen en ellos las circunstancias atmosféricas, o bien oceanográficos, si se atribuyen a la acción de las mareas?

¿Cabe estudiar separadamente esos misteriosos fenómenos, desesperación del sismólogo, (porque bien a menudo le ahogan en las gráficas el principio de los telesismos), cuando sus causas son en muchos casos desconocidas, y hasta se ignora si su origen es astronómico, meteorológico o telúrico?

Este estudio separado del fenómeno sería tan acertado como el tratamiento de un enfermo por distintos médicos, que sin ponerse de acuerdo ni saber cada uno la intervención de sus compañeros, trataran de diagnosticar la enfermedad, atendiendo solamente, uno a las indicaciones del termómetro, otro a la tensión arterial, éste al análisis de la orina, aquél al de la sangre...

En las ciencias médicas, dicho sea en su honor, no pueden ocurrir tales dislates: los médicos se reúnen en consulta, estudian los síntomas de la enfermedad, las condiciones en que se produce y desarrolla, y dan el tratamiento racional que salva al enfermo; pero en las ciencias telúricas el caso es muy distinto:

los geógrafos, geólogos, geofísicos y geodestas no celebran consultas, no trabajan en colaboración, y el enfermo parece; es decir, nuestros conocimientos en materias telúricas no avanzan con la rapidez que pudiera esperarse de los potentes medios de investigación con que cuenta el hombre hoy día.

El eminente sismólogo Sr. Rizzo logró con su brillantísima defensa que la Asamblea general de Roma acordara la no separación de las investigaciones geodésicas y geofísicas, decisión que influirá notablemente en la eficacia de los trabajos que la Unión Geodésica y Geofísica Internacional lleve a cabo en todos los países.

La importancia de los estudios geofísicos se va acentuando de tal modo que, no contenta de investigar los fenómenos físicos de nuestro planeta en un alto interés puro y teórico, la Geofísica ha desbordado este campo y ha entrado en el práctico y positivo de las aplicaciones, constituyendo la Geofísica técnica o aplicada (13).

La evolución es tan rápida e interesante que parece oportuno dedicarle algunas palabras, para apreciar el alcance de las nuevas investigaciones y poner estos problemas en relación con los de la Geofísica pura, por una parte, y los de la Geología práctica, por otra.

Hasta hace poco la Geofísica pura se ha ocupado de la distribución en el Globo y en su capa atmosférica de las propiedades físicas y de estudiar, en sus grandes relaciones, los fenómenos a que da lugar dicha distribución, elaborando y sometiendo a examen crítico los principios de la investigación y la aplicación a los problemas que ofrece la Tierra en conjunto, o en sus diversas partes, como elementos constitutivos del Globo.

La Geofísica aplicada o técnica se vale de dichos principios, teorías y observaciones y los aplica a las cuestiones prácticas de minería, construcciones hidráulicas, etc. De la distribución de las propiedades físicas en el Globo deduce los rasgos distintivos que interesan al problema propuesto. En lugar de valerse de los mismos fenómenos naturales, provoca perturbaciones artificiales en el estado de equilibrio elástico, eléctrico, etc., de las capas superficiales de la corteza y deduce de las condiciones observadas, tanto en la distribución como en la propagación de las ondas provocadas, la estructura del subsuelo, base indiscutible de los problemas prácticos que se propone.

Como es sabido, la sensibilísima balanza de torsión da en cada punto la variación de la gravedad en función de sus coordenadas. Sus medidas, combinadas con algunas determinaciones pendulares, permiten formar idea de la distribución de las masas subterráneas. Como la acción atractiva es directamente proporcional a las masas e inversamente al cuadrado de la distancia, dedúcese que la perturbación en la distribución local de la gravedad se hará tanto más perceptible cuanto mayor sea la masa, cuya densidad difiere notablemente de las masas circundantes, y cuanto más próxima esté a la superficie terrestre. Si se conocen los rasgos tectónicos de la zona explorada y la densidad de las rocas que integran las capas del subsuelo, se podrá en los casos de sencilla estructura fijar la posición de las superficies que separan los estratos de distinta densidad. Este procedimiento ha sido aplicado con éxito en la Alemania septentrional para localizar los yacimientos salinos, pues allí las capas de sal son más ligeras que las formaciones más recientes en que aparecen intercaladas.

El estudio del campo magnético se ha aplicado también en la exploración del subsuelo, y conocido es, por ejemplo, el método magnetométrico de que se valen en Suecia para localizar las masas ferruginosas magnéticas. Schuh (12) se ha valido del trazado de las isanómalas de la intensidad magnética en el caso de formaciones sedimentarias, y eligiendo una zona de sencilla estructura tectónica en el SW. de Mecklemburgo, ha podido fijar con precisión matemática los límites de yacimientos salinos, conocidos por la exploración, e indicar la posición de otros en zonas inmediatas donde no se habían hecho aún sondeos.

Como es sabido, las rocas contienen en ínfima proporción sustancias radioactivas, cuyas radiaciones ionizan los gases que encuentran en su emisión y los hacen conductores. Por el grado de esta conductividad o por la absorción adecuada de las radiaciones puede deducirse cuál es la sustancia emisora.

Como las sustancias radioactivas pasan a las formaciones detríticas, y es un hecho experimental que por encima de las fallas y de los afloramientos de ciertos filones, a causa de los cambios de posición o inversiones de las sustancias principales o de sus productos de descomposición, se observa un aumento de la emisión radioactiva, resulta que por la medida de ésta

puede localizarse perfectamente el accidente tectónico o el yacimiento metalífero.

La acción de la intemperie y de las aguas superficiales produce en las capas superiores de ciertos criaderos metálicos alteraciones químicas con relación a las partes no atacadas, lo que origina fuerzas electromotrices. En las inmediaciones de tales criaderos se observa una distribución especial del potencial propio, que acusa un máximo por encima de aquéllos, de modo que si en la región explorada se mide la diferencia de potencial eléctrico de un gran número de puntos con relación a uno elegido previamente, por la distribución que ofrezca en la superficie del suelo se puede deducir la posición del criadero.

Como el proceso electrogénico está ligado a un gran número de reacciones químicas, resulta que este procedimiento puede aplicarse no sólo en la busca de masas metálicas, piritas de hierro o cupríferas, etc., sino en un campo más amplio, en todos aquellos casos, por ejemplo, producción de fallas, en que la alteración de las rocas dé lugar a reacciones químicas.

El estudio de la transmisión, por las capas del suelo, de una corriente eléctrica, puede dar útiles pormenores acerca de la estructura del subsuelo, ya que dicha transmisión ha de estar supe-
ditada a las condiciones de conductividad de los estratos atravesados, que varían entre límites muy amplios, desde las masas metálicas, muy buenas conductoras, las rocas muy húmedas, que lo son menos, y, por último, los estratos superficiales de los desiertos y los yacimientos salinos, cuya conductividad es prácticamente nula.

Las corrientes eléctricas se hacen pasar por el suelo valiéndose de reóstatos de gran superficie, bien sea por comunicación directa, por inducción o por influencia. Si la constitución del subsuelo fuera homogénea, la distribución en él de la corriente dependería únicamente de la posición de los electrodos. En el caso de una estructura heterogénea, que es el que interesa en las aplicaciones, hay que elegir la posición de modo que influya de manera característica en la distribución normal. Por ejemplo, en el caso de un filón o vena metalífera, los electrodos, de superficie alargada, se dispondrán normalmente a su dirección y las líneas de fuerza del campo eléctrico se concentrarán a lo largo del filón. Si se conociera un extremo de éste, en él se colocaría uno de los electrodos, y los otros se dispondrían, en posi-

ción simétrica, en un círculo que tenga por centro el punto que se busca. El estudio de la distribución del campo eléctrico en la zona explorada puede hacerse atendiendo a las líneas de fuerza o bien a las superficies equipotenciales.

El empleo de las medidas eléctricas tiene un campo extenso de aplicaciones. Los filones o masas metálicas pueden descubrirse con su auxilio aunque se encuentren a profundidades considerables. Las observaciones del campo pueden en este caso complementarse con otras hechas en el laboratorio. Para ello se disponen grandes recipientes, como de un metro cúbico, en donde se colocan modelos de cuerpos conductores o de sustancias aisladoras, con arreglo al caso típico que se vaya a estudiar, del que se tendrán algunos datos por los reconocimientos geológicos, y hecho esto se estudia experimentalmente la distribución del campo eléctrico, viendo la influencia que ejerce la posición y profundidad de los electrodos puntiformes, dirección y buzamiento de los estratos que forman el modelo que se quiere analizar, etc. Del resultado de este análisis experimental se pueden sacar conclusiones interesantes que sirvan de norma o guía a los reconocimientos y observaciones que se han de efectuar en el terreno.

De modo opuesto a las masas o filones metálicos actúan las sustancias malas conductoras, como aceites minerales y productos análogos, que acusan en el suelo, por encima o en torno de ellas, un apretamiento de las líneas equipotenciales. En ambos casos las observaciones efectuadas en la superficie del suelo pueden complementarse con las obtenidas en los sondeos, pozos y galerías de minas. La distribución de la tensión eléctrica, tanto en los puntos superficiales como en los de los pozos y galerías cercanas a la región explorada, da una imagen precisa de las condiciones de conductividad de las capas subterráneas, que sirve de guía segura en la interpretación de la estructura geológica, y este procedimiento alcanza importancia extraordinaria en los yacimientos petrolíferos.

En lugar de la transmisión de las corrientes se puede emplear la propagación de las ondas eléctricas como medio de descubrir la estructura geológica subterránea; solo que en este caso las condiciones del medio de propagación son opuestas, es decir, que las ondas exigen sustancias no conductoras.

Como instrumentos de producción de ondas eléctricas se uti-

lizan los mismos aparatos de la telegrafía sin hilo, ajustados, sin embargo, a las condiciones de los pozos y galerías de minas.

El empleo práctico de este procedimiento está limitado a los yacimientos salinos y a los estratos de las regiones desérticas, en que la sequedad extremada permite la propagación de las ondas. En este caso el problema principal estriba en la separación de una masa muy mala conductora, como es la de la sal, y otra buena conductora, por ejemplo, la capa freática, etc. Si en una mina de sales potásicas se reciben directamente las ondas eléctricas emitidas por otra, esto da la seguridad de la existencia entre ambas de una masa de sal interpuesta.

Otro curioso procedimiento de investigación es el estudio de las oscilaciones propias de una antena colocada en un pozo de mina. La capacidad de la antena depende de la constante dieléctrica del medio circundante, y las masas conductoras situadas en su torno amortiguan las oscilaciones que se producen en la antena. Si la vamos alargando o acortando sucesivamente se podrán estudiar las variaciones que el medio produce en las oscilaciones provocadas en el pozo y localizar las capas de sales distintas, las masas de agua, etc., que estén próximas al pozo.

Un procedimiento de investigación de gran interés es el estudio de la propagación de las ondas elásticas por las capas superficiales de la corteza, pues gracias al gran material de observación acumulado en las estaciones sismológicas y a las numerosas investigaciones que a él se han dedicado se tienen resultados de una gran precisión. Además ofrece la ventaja de poderse utilizar la medida de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, que es en este caso sólo de algunos kilómetros por segundo. Para ello se emplean tipos de aparatos análogos a los del registro de los sismos próximos, que dan la amplitud de las dos componentes horizontales y la de la vertical, el ángulo de emergencia, velocidad de propagación, etc. Es necesario que los tres aparatos funcionen con las mismas constantes, para que la amplificación del movimiento sea la misma en todos ellos. En lugar de utilizar los sismos se producen perturbaciones artificiales del suelo por medio de explosiones o caída de masas pesadas desde gran altura.

La propagación del movimiento sísmico, o de la perturbación artificial, depende de las condiciones elásticas del medio atravesado. Si la constitución del subsuelo fuera perfectamente

homogénea, el rayo sísmico iría en línea recta. Al ser el medio heterogéneo la trayectoria es curvilínea y determinada por la condición braquistocrónica. En las rocas compactas la velocidad de propagación es mayor que en las sueltas y, además, la dirección del rayo sísmico influye también, pues en los terrenos sedimentarios la propagación no es la misma en la dirección de los estratos que en la transversal a ellos.

Un ejemplo del empleo de este método sísmico ofrece el caso de un lecho de terreno suelto que descansa sobre un banco de roca compacta. Se puede determinar fácilmente la profundidad del primero produciendo en un punto del suelo una perturbación, por ejemplo, mediante una explosión, siempre en las mismas condiciones, y registrando el movimiento provocado en una serie de puntos a distancia cada vez mayor del foco de la perturbación. Mientras el lugar donde se registra el movimiento del suelo esté a corta distancia del foco, el rayo sísmico atravesará la capa superior de terreno suelto y el tiempo que tarde en llegar a la estación registradora dependerá de la velocidad de propagación que corresponde a las condiciones elásticas y densidad de la materia en dicho lecho. A medida que nos separemos del foco la trayectoria irá alcanzando mayores profundidades, llegará un momento en que será tangente a la superficie de separación de los dos estratos y después irá penetrando cada vez más en el inferior de roca compacta. Como en éste la velocidad de propagación es bastante mayor, si de los sismogramas registrados en los distintos puntos deducimos la velocidad del movimiento sísmico, se observará que ésta permanece al principio constante, mientras el rayo sísmico sólo atraviesa la capa superior del terreno, aumentará desde la distancia que corresponda a la trayectoria tangente a la superficie de separación de los dos estratos, y desde ese momento el crecimiento de la velocidad se irá haciendo cada vez más acentuado. Si por las condiciones geológicas de la región explorada, en que se presenta tan sencilla estructura, conocemos la clase de formación que corresponde a los dos estratos y podemos determinar la velocidad de propagación del sonido en ellos, el conocimiento de la distancia epicentral a que empieza el aumento mencionado de velocidad de propagación del movimiento sísmico nos dará la profundidad de la superficie de separación de los dos estratos. Hemos tratado un caso sencillísimo de investigación sísmica, basada en la velocidad de propagación del movimiento;

claro está que hay otros procedimientos, que no detallamos, por la obligada concisión de este discurso (*), y en que se aprovechan otras magnitudes que se deducen del cálculo de los sismogramas, como son las amplitudes del movimiento, la aceleración máxima de las partículas del suelo, el ángulo de emergencia, etc.

El método sismométrico encuentra su principal aplicación cuando se trata de problemas que estriban en determinar superficies extensas de separación de bancos de gran potencia, cuyas propiedades físicas difieren bastante para que den lugar a condiciones muy distintas de densidad y elasticidad en los dos medios por donde ha de propagarse el movimiento sísmico artificial que provocamos por medio de explosiones o caída de masas pesadas.

Acabamos de ver que la Geofísica aplicada saca partido de las condiciones gravílicas, magnéticas, eléctricas y elásticas de los materiales que integran los estratos superiores de la corteza terrestre para deducir de la distribución y propagación en ellos de las perturbaciones naturales o artificiales la situación de las masas subterráneas y la estructura geológica del subsuelo. Mas no se crea que el empleo aislado de cada uno de los métodos que se fundan en dichas propiedades de la materia sea un procedimiento especial de investigación para cada clase de problemas que puedan presentarse. La Geofísica es ante todo una ciencia de colaboración, y la resolución de cada caso particular, busca de filones, de yacimientos salinos, masas petrolíferas, etc., exige la aplicación simultánea y combinada de varios de los procedimientos enumerados. En ciertos problemas el empezar la investigación efectuando las medidas que corresponden a las diversas propiedades gravílicas, magnéticas, eléctricas y elásticas da el medio más rápido y seguro de localizar el accidente tectónico o el yacimiento buscado.

Este principio de colaboración es tan esencial que trasciende del campo de la Geofísica al de la Geología práctica. La mayor parte de los problemas confiados hoy a la Geofísica aplicada se refieren a la minería, abastecimiento de aguas, construcciones hidráulicas, etc., es decir, son del campo de la Geología práctica.

(*) El lector a quien interesen los nuevos procedimientos de la Geofísica aplicada, puede consultar los trabajos que a partir del número 13 se citan en la nota bibliográfica que va al final de este discurso.

A pesar de los progresos rápidos efectuados en estos últimos años por la Geofísica aplicada, ciencia que acaba de constituirse, la estructura geológica del subsuelo es casi siempre tan complicada que las masas perturbadoras influyen de intrincado modo, contrarrestando en parte sus mutuos efectos, lo que obliga a considerar problemas fáciles en que la estructura geológica no sea complicada. Como base, sin la cual el geofísico no podría iniciar sus trabajos, se requiere que en la zona donde se plantee el problema se haya hecho un reconocimiento geológico que guíe al geofísico en la investigación. Sería inútil proponer al geofísico la localización de una falla o la busca de un yacimiento salino, por ejemplo, en una zona donde por el conocimiento de su tectónica se sabe que tal accidente o yacimiento no puede presentarse. En estas condiciones la labor del geólogo ha de preceder a la del geofísico para servirle de guía, tan preciada como indispensable. La Geología prestará primero sus datos a la Geofísica aplicada para que ésta pueda empezar sus observaciones de suma precisión y facilitar después a su compañera los resultados que dan la clave del problema. Y en esta investigación geofísica la consulta al geólogo será precisa en muchos casos, pues al comenzar las observaciones con un plan general trazado en virtud de las condiciones tectónicas de la zona explorada, como el geólogo da como probables ciertos espesores de los estratos, la continuación de éstos en las masas invisibles del subsuelo, que no han sido accesibles a su reconocimiento, una dislocación inesperada puede dar al traste con esta presumida estructura del subsuelo, por fallar entonces el principio de continuidad y analogía de que el geólogo se ha servido para juzgar de lo que no podía ver en su reconocimiento, y en estas condiciones, cuando las medidas geofísicas den pormenores de distribución de las propiedades físicas que no se esperaban y que podrían desorientar y aun desconcertar al geofísico, impidiéndole la continuación rápida y eficaz de sus trabajos, el geólogo, en vista de las circunstancias que parecen cambiar la naturaleza de la cuestión, procederá a contrastarlas con nuevos reconocimientos para llegar a otra interpretación de las condiciones tectónicas, que servirá de base al plan que haya de seguirse en la ulterior investigación geofísica. En tales condiciones el trabajo de la Geofísica aplicada aparece intercalado en el del geólogo, y sólo una íntima colaboración permitirá llegar a una rápida, eficaz y económica solución de los problemas pro-

puestos, ya que en igual medida contribuyen las dos ciencias afines.

* * *

A grandes rasgos hemos expuesto la íntima relación que existe en las investigaciones de las ciencias telúricas, cuyos campos de trabajo, lejos de aparecer separados unos de otros, en compartimientos autónomos, se compenetran de tal modo que es difícil saber en muchas cuestiones cuáles son los límites que demarcan la acción particular de cada ciencia. El único medio eficaz de que las telúricas progresen rápidamente es que los distintos investigadores no pierdan el tacto de codos que ha de llevarles a la cumplida explicación de los enigmas que a cada instante ofréceles el globo; que, dejando a un lado todo exclusivismo, se comuniquen mutuamente sus trabajos, en colaboración íntima y fraternal, no olvidando que toda cuestión exige el acopio de los datos recogidos en cada campo, para no caer en la solución unilateral y fragmentaria que da lugar a concepciones falsas y trae consigo la esterilidad a que están condenadas tantas y tan brillantes investigaciones.

¡Ojalá que de este desaliñado discurso, que puso a dura prueba vuestra paciencia sin límites, pueda salvarse la idea directriz de que la colaboración íntima es la indispensable condición del rápido progreso de las ciencias telúricas y que nuestra Asociación, que en los Congresos bianuales pone en relación a los investigadores de todas las ciencias, dé su firmísimo apoyo a esta idea para que el hombre pueda arrancarle a la tierra sus secretos, ocultos aún por velo impenetrable, a pesar de su incesante estudio, y quién sabe si por haberse aislado el sabio en su investigación, olvidando el principio práctico de que en la unión estriba la fuerza!

He dicho.

NOTA BIBLIOGRÁFICA

1. Vicente Inglada: La corteza terrestre. Instituto Geográfico. Madrid, 1923.
2. F. A. Buchwaldt: Les principes de la Géodésie statique. Den Danske Gradmaalng. Copenhagen, 1922.
3. A. E. H. Love: London R. Soc. Proc. 82 (1909), pág. 73. Monthly Not., 69 (1909), pág. 476.
4. A. Prey, C. Mainka y E. Tams: Einführung in die Geophysik. Berlin, 1922.
5. J. Rey Pastor: Evolución de la Matemática en la edad contemporánea. Conferencias de la Sección de Ciencias exactas, físicas y naturales del Ateneo de Madrid, 1916.
6. C. Mainka: Physik der Erdbebenwellen. Berlin, 1924.
7. A. Wegener: La génesis de los continentes y océanos. Edición española de la *Revista de Occidente*. Madrid, 1924.
8. F. Kossmat: Die Meditteraneen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustande der Erdrinde. Abh. d. Math. Naturw. Kl. d. Sachs. Akad. d. Wiss., 38, núm. 2. Leipzig, 1921.
9. W. Bowie: Investigations of gravity and isostasy. Washington. U. S. Coast and Geodetic Survey, 1917.
10. W. Bowie: Isostatic investigations and data for gravity stations in the United States established since 1915. Idem id. id. id., 1924.
11. Union Géodésique et Géophysique Internationale. Section de Sismologie. Comptes Rendus des séances de la première Conférence réunie à Rome, du 2 au 10 mai 1922, rédigés par le Secrétaire E. Rothé, págs. 29-31, 1922.
12. Frid. Schuh: Magnetische Messungen im südwestlichen Mecklenburg als Methode geologische Forschung. Mitt. a. d. meckl. geol. Landesanstalt, XXXII, 1920.
13. H. Saalk und G. Brinkmeier: Zeitschr. f. prakt. Geophysik, I Band, Heft 4.
14. Richard Ambronn: Die Aufgaben der angewandten Geophysik. Zeitsch. f. angewandte Geophysik, núm. 1, agosto 1922.
15. Richard Ambronn: Physikalische Aufschlussarbeiten als Hilfsmittel für geologische Forschung. Glückauf, núm. 21, 1921.
16. Richard Ambronn: Die Aufsuchung von Salzstöcken und Erdölstätten mittels physikalischer Aufschlussmethoden. Petroleum, núm. 27, 20 septiembre 1921.
17. Königsberger: Die Verwendung geophysikalischer Verfahren in d. prakt. Geologie. Z. f. prakt. Geol., 1922. H. 3, págs. 33-41.
18. M. Abraham, H. Rausch v. Trautenberg, J. Pusch: Über ein Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Leitfähigkeit des Erdbodens. Physik. Ztschr., XX, 145-147, 1919.
19. Richard Ambronn: Die Untersuchung des Untergrundes von Baustellen

- mittels phys. Messungen. Der Bauingenieur. Zt. f. d. ges. Bauwesen, Jg., 1920, heft 7-8.
20. Richard Ambronn: Die Anwendung physikalischer Aufschlussmethoden im Berg-Tief- und Wasserbau. Erdmann, Jahrb. d. Hallesch. Verbandes f. Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung, Bd. III, Lfg., Nr. 2, 1921.
 21. Richard Ambronn: Physikalische Aufschlussarbeiten im Bergbau. Natur und Technik., III, 1921, pag. 273.
 22. Richard Ambronn: Über die Bewertung physikalischer Untersuchungsmethoden zu Aufschlusszwecken im Kalibergbau. Kali, 1921, XV, heft 12.
 23. Richard Ambronn: Die Verwertung der physikalischen Aufschlussarbeiten im Berg-Tief- und Wasserbau. Umschau, XXVI, 1922.
 24. Becker, George F.: Relations between Local Magnetic Disturbances and the genesis of Petroleum. Bulletin of the United States geol. Survey, Nr. 401. Washington, 1909.
 25. De l'emploi des méthodes d'exploration géophysiques pour reconnaître les dangers menaçant l'exploitation des mines et pour les combattre. Erda A. G. Gottingen, 1922.
 26. G. Leimbach: Über die Anwendung elektrischer Schwingungen (drahtloser Telegraphie) zur Erforschung des Erdinnern, besonders im Kalibergbau, I y II Kali, VII Jg. Heft 17 y VIII Jg. Heft. 7.
 27. G. Leimbach: Die Erforschung des Erdinnern mittels elektrischer Wellen. Osterr. Wochenschr. d. öffentl. Baudienst, 1914, heft. 41.
 28. Leimbach: Elektrische Wellen und Schwingungen zur Erforschung des Erdinnern. Ztschr. d. Vereins dt. Ing. Jg., 1914 y 1915.
 29. Leimbach: Physikalische Aufschlussarbeiten im Berg- und Schachtbau (die Wechselstrommethode). Kali, XI Jg., 15 feb. 1917, pag. 49.
 30. Löwy und Leimbach: Eine elektrodynamische Methode zur Erforschung der Erdinnern., I y II Mitt. Physik. Ztschr. XI Jg., Nr. 16 y XIII Jg. Nr. 9.
 31. Löwy: Systematische Erforschung der Erdinnern mittels elektrischer Wellen. Ztschr. j. prakt. Geologie, XIX Jg., 1911, heft 8.
 32. A. Nippoldt: Messungen der magnetischen Vertikalkraft als Hilfsmittel zur Aufsuchung von Lagerstätten. Steinbruch, XVI, 1921.
 33. Desider Pekar: Die geophysikalischen Messungen des Barons Roland v. Eötvös. Naturwissenschaften, 1919, Heft 10.
 34. F. W. Pffaf: Beziehungen zwischen erdmagnetischen Messungen und geologischem Aufbau der Rheimpfalz. Geognostische Jahreshefte, Jg. XXI. 1908.
 35. F. W. Pffaf: Beziehungen zwischen geologischem Aufbau und erdmagnetischen Messungen im rechtrheinischen Bayern. Geogn. Jahrb., XXVI Jg., 1913.
 36. C. Schlumberger: Étude sur la prospection électrique du sous-sol. Paris, 1920.
 37. W. Schweydar: Die Bedeutung der Drehwaage von Eötvös für die geologische Forschung nebst Mitteilung der Ergebnisse einiger Messungen. Ztschr. f. prakt. Geologie, 26, 1918.

38. P. Uhlich: Magnetische Erzlagerstätten und ihre Untersuchung mittels des Magnetometers. Freiberg, 1899.
39. Arthur Wagner: Erdmagnetische Messungen zwecks Aufsuchung isolierter schwach magnetischer Erzläger. Ztschr. f. angew. Geophysik. Heft 8, marzo 1924, págs. 225-246.

Sección 3.^a

CIENCIAS FÍSICO-QUÍMICAS

DISCURSO INAUGURAL

POR

J. PALACIOS

La teoría de los «quanta» y la emisión de energía.

Compara sir Oliver Lodge en su ameno libro *Atoms and Rays* los progresos actuales de la Física con el desarrollo adquirido por la Astronomía durante el siglo XVII, y sugiere la idea de que estamos viviendo, con respecto a la Física, una era correspondiente al comienzo de la época newtoniana de la Astronomía. Esta ciencia, como es sabido, ha pasado por fases o períodos perfectamente marcados. La Astronomía como ciencia comienza con Copérnico a principios del siglo XVI; este astrónomo descubre que en los movimientos de los cuerpos celestes, incluyendo los complicadísimos de los planetas y de los cometas, hay cierto orden y regularidad, que le permite establecer un esquema del Universo sumamente sencillo. Su sistema se reduce a una especie de historia de la naturaleza, en la que se describen los fenómenos, según sus apreciaciones, sin buscar las causas. Por largo tiempo no se tiene más que un conocimiento vago del movimiento de los planetas, y sus leyes no

Paralelismo entre el desarrollo de la Astronomía y el de la Física del átomo.

se establecen ni siquiera aproximadamente. Viene luego el período instrumental, caracterizado por las exactas medidas llevadas a cabo por Tycho-Brahé a fines del siglo XVI. Sigue a continuación el período en que Kepler, a comienzos de la XVII centuria, aprovecha las observaciones acumuladas y establece empíricamente, con gran brillantez, las leyes del movimiento de los astros. Finalmente, la gloriosa teoría de Newton explica dichas leyes empíricas, así como la mayor parte de los pequeños detalles concernientes a los movimientos y perturbaciones de los cuerpos celestes, predice nuevos hechos y hace de la Astronomía una ciencia perfecta.

En la Física del átomo y de la energía radiante nos encontramos primero con un conocimiento general de la composición de la radiación, la medida de su velocidad, la demostración de que es algo inmaterial, consistente en una perturbación ondulatoria del éter. Este período, que nos lleva hasta Stokes y Clerk-Maxwell, se corresponde con el período astronómico que sumariza Copérnico.

Comienza luego una fase de trabajo experimental en la que se miden con toda exactitud los componentes de la radiación. Se inicia con Bunsen y Kirchhoff, sigue con Liveing, Dewar y Huggins y Fowler y culmina en los espléndidos espectroscopios y en la pléyade de espectroscopistas que han enriquecido nuestras actuales tablas de longitudes de onda. He aquí una labor perfectamente comparable con la realizada por Tycho-Brahé en el campo de la Astronomía.

Hacia el año 1885 se inaugura el período kepleriano de la Física atomística. Balmer, Ritz y otros descubren leyes empíricas que ponen de manifiesto ciertas regularidades existentes en las rayas espectrales. Estas leyes, indudablemente correctas en sus líneas generales, se limitaban a coordinar los hechos observados

y no eran mas que un indicio de la existencia de regularidades más íntimas que, una vez establecidas, habían de constituir la verdadera clave del problema.

Actualmente nos encontramos en el comienzo del período newtoniano. Empieza a describirse algo de la significación real de las expresiones empíricas de Balmer y Ritz, y, por razonamientos matemáticos, que se reducen a simples cuentas de Aritmética, puede predecirse la existencia de nuevas series de rayas. Sin embargo, la causa de las discontinuidades que se manifiestan en el funcionamiento del átomo no es completamente conocida, y subsiste algo de empirismo en la interpretación de los hechos observados, lo cual demuestra que escasamente hemos empezado la era newtoniana y que aun queda mucho por hacer.

Nuestra época señala el principio del período newtoniano de la Física del átomo.

El paralelismo entre el desenvolvimiento de la Astronomía y el de la Física no puede ser más exacto en lo que a los hechos se refiere. Hay, sin embargo, una diferencia indudable en cuanto a las personas. Cada período de la historia de la Astronomía está concentrado en un nombre, a cuya labor individual se debe todo el progreso realizado. En cambio, los avances de la Física se deben a la cooperación de un gran número de investigadores, cada uno de los cuales levanta un piso del edificio científico apoyándose sobre la plataforma construída por los que le han precedido. Y si es uno solo el que erige la armazón, son muchísimos los que la afianzan, rellenan, embellecen y la ponen en condiciones de servir de base a nuevas edificaciones. En un momento dado es posible señalar un nombre que marque el punto culminante del progreso; pero es difícil averiguar si el paso decisivo ha sido dado por él o por alguno de los que le han precedido en el mismo orden de ideas. Así, puede decirse que el nombre representativo del mo-

Los avances de la Física se deben a la cooperación de un gran número de investigadores.

mento actual de la Física del átomo es el del profesor danés Niels Bohr, de Copenhague, y que toda su obra se apoya en los cimientos trazados por Max Planck, de Berlín, y consolidados por tal número de físicos que su sola enumeración formaría una lista interminable.

Cómo se planteó el problema de la constitución del átomo.

Los datos de que se disponía al plantear el problema de la constitución de los átomos eran el resultado del estudio de los dos grupos de manifestaciones asequibles a nuestra observación. El primero se refiere al conjunto de propiedades físicoquímicas características de los elementos que se compendian en el sistema periódico de Mendelejeff. El segundo abarca las propiedades de los cuerpos en su relación con la emisión y absorción de energía radiante, incluyendo en ella los rayos X, una vez que el célebre experimento de Laue demostró su identidad con la luz ordinaria. Se trataba, por consiguiente, de idear un modelo atómico capaz de explicar las regularidades del sistema periódico y de sistematizar el inmenso número de rayas de que se compone el espectro completo emitido por el átomo de un elemento determinado.

Presunta complicación del átomo

Hasta hace bien poco, la Espectroscopia era un capítulo de la Física, cuyo caudal experimental se enriquecía de un modo sorprendente, pero cuyo estudio o exposición resultaba imposible, pues ello hubiese equivalido a aprenderse de memoria una lista interminable de números representativos de las diversas longitudes de onda. Las rayas que se obtenían, aun en la parte visible del espectro, parecían inagotables, pues aumentaban más y más al emplear aparatos espectroscópicos más potentes o al forzar los medios de excitar la producción de energía radiante. La complicación aumentó al descubrirse nuevas series de rayas a uno y otro lado de la porción visible del espectro. El análisis espectral como medio práctico de investigación estaba condena-

do a muerte, asfixiado por su propia complejidad. Es natural que se creyese que el átomo debía tener una estructura sumamente complicada, ya que era capaz de producir tan intrincados fenómenos, y que se dijese que el tratar de averiguar cómo es un átomo estudiando su espectro equivalía a pretender darse cuenta de qué es un piano por dentro escuchando el ruido que produce al tirarlo escaleras abajo.

El problema, en efecto, parecía inabordable; pero a medida que se acumulaban los datos experimentales crecía también el número de condiciones restrictivas que era preciso imponer a la organización del modelo atómico.

No es nuestro propósito hacer un estudio crítico de la labor de Bohr y de sus predecesores. Tal empresa ha sido llevada a cabo recientemente y con gran acierto por el catedrático F. Ramón Ferrando en su notabilísimo discurso de apertura del curso de 1924 a 1925 en la Universidad de Murcia. Nos limitaremos a un punto concreto, el referente al mecanismo de la emisión de la energía radiante; pero antes nos conviene exponer, a grandes rasgos, los hechos y las ideas en que se apoya el modelo atómico ideado por Bohr.

En primer lugar, la medida de las desviaciones que experimenta una partícula al atravesar una delgada hoja metálica (1) demostró que la carga positiva del núcleo de un átomo se componía de tantas cargas elementales o gránulos de electricidad positiva como unidades tiene el número atómico del elemento considerado, es decir, el lugar que ocupa el elemento en el sistema periódico. Para que el átomo sea neutro es preciso que haya igual número de cargas eléctricas negativas elementales o electrones. Este re-

Los componentes
del átomo.

(1) Rutherford: *Phil. Mag.*, XXI, 669, 1911. Geiger y Marsden: *Phil. Mag.*, XXV, 604, 1913. Chadwiche: *Phil. Mag.*, XL, 734, 1920.

sultado, confirmado por las observaciones llevadas a cabo por Barckla respecto al poder difusor de los átomos con respecto a los rayos Roentgen, ha dado la clave del problema, pues permitió contar el número de electrones que hay en cada átomo, resultando, en particular, que el hidrógeno consta de un núcleo positivo y de un electrón único.

La hipótesis de los *quanta* contribuye a resolver el problema.

¿Cómo es posible que un sistema tan sencillo como el átomo del hidrógeno sea capaz de emitir, cuando menos, una serie de rayas en la región visible, otra en la ultravioleta y otras dos en la ultrarroja? Esta pregunta ha sido contestada por Bohr de un modo plenamente satisfactorio, fundándose en la hipótesis de los *quanta* de Planck (1) que establece que en todo proceso periódico en que se produzca radiación de frecuencia ν la energía emitida es un múltiplo entero del *quantum* ϵ de energía, el cual, a su vez, viene dado por la fórmula

$$\epsilon = h\nu,$$

donde h es una constante universal, cuyas dimensiones de energía \times tiempo y que se denomina el *quantum* de acción de Planck. Su valor es

$$h = 6,55 \times 10^{-27} \text{ ergs. seg.}$$

La hipótesis de los *quanta*, enunciada el último año del siglo pasado, ha demostrado tal fecundidad y ha sido comprobada en tan variados campos de la Física, que no puede ya dudarse de su exactitud. Ideada para explicar la distribución de la energía en la radiación emitida por el cuerpo negro, ha sido aplicada con resultados

(1) *Verhandl. d. deutsch. physikal. Ges.*, 1900, página 237. *Ann. d. Phys.*, IV, 555, 1901; VI, 564, 1901; VI, 818, 1901; IX, 622, 1902. *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung*, 1906.

sorprendentes a la explicación del fenómeno fotoeléctrico en todas sus manifestaciones, a la teoría molecular del estado sólido (calor atómico, ecuación de estado, conductividad térmica y conductividad eléctrica), así como, aunque de un modo precario, a la teoría del estado gaseoso (1).

La teoría de los *quanta* ha obtenido su éxito más rotundo al ser aplicada por Bohr a su modelo atómico. Volviendo al caso del hidrógeno, supone el físico danés que el electrón único que hay en el átomo de este elemento gira alrededor del núcleo lo mismo que un planeta en torno del Sol; pero en lugar de estar obligado a moverse en una órbita única puede elegir entre varias. A diferencia de lo que ocurre en el sistema solar, donde las órbitas pueden variar de un modo continuo, las órbitas que puede recorrer el electrón en el átomo de hidrógeno son sólo las que cumplen dos condiciones:

Primera. *De acuerdo con la Mecánica clásica, ha de haber equilibrio entre la fuerza centrífuga y la fuerza coulombiana de atracción entre las masas eléctricas del núcleo y del electrón.*

Segunda. *En toda órbita posible las integrales de fase han de ser un múltiplo entero del quantum de acción h .* Esta condición significa que en todo sistema definido por las coordenadas generalizadas q_i y los impulsos o cantidades de

movimiento $p_i = \frac{\partial E_{\text{cin}}}{\partial \dot{q}_i}$ han de cumplirse las ecuaciones

$$\int p_i dq_i = nh, \quad [1]$$

donde n es un número entero cualquiera.

(1) La sola enumeración de trabajos referentes a aplicaciones de la teoría de los *quanta* llenaría varias páginas. Véase, por ejemplo, F. Reiche: *Teoría de los quanta* (trad. por J. Palacios), y A. Sommerfeld: *Atombau und Spektrallinien*, 1924.

El átomo como sistema planetario sometido a una condición clásica y otra cuantista.

Mecánica cuantista
del átomo de hidró-
geno.

En el caso sencillo que consideramos, y concretándonos a órbitas circulares, queda una sola integral de fase, que vale $2\pi m a^2 \omega$, siendo m la masa del electrón, a el radio de la órbita y ω la velocidad angular. En resumen, las dos condiciones que acabamos de establecer se expresan así:

$$m a \omega^2 = \frac{eE}{a^2}; \quad 2\pi m a^2 \omega = n h, \quad [2]$$

donde e es la carga del electrón y E la carga del núcleo, que en el hidrógeno vale también e . A cada órbita corresponde un número entero n , que crece de unidad en unidad a medida que nos alejamos del núcleo. Basta eliminar ω para obtener los radios de las diversas órbitas cuantistas:

$$a = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e E}, \quad [3]$$

que resultan crecer como la serie de los cuadrados de los números enteros.

Mientras un electrón recorre una órbita determinada poseerá una energía constante, que será la suma de la energía cinética y de la energía potencial. Un cálculo sencillo conduce a:

$$E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{2\pi^2 m e^2 E^2}{n^2 h^2}, \quad [4]$$

$$E_{\text{pot}} = W_{\infty} - \frac{4\pi^2 m e^2 E^2}{n^2 h^2}, \quad [5]$$

donde $v = a\omega$ es la velocidad lineal del electrón y W_{∞} su energía potencial cuando está infinitamente lejos del núcleo. La energía total valdrá:

$$W = E_{\text{cin}} + E_{\text{pot}} = W_{\infty} - \frac{2\pi^2 m e^2 E^2}{n^2 h^2}. \quad [6]$$

La energía del electrón disminuye a medida que se hace más pequeño el radio de la órbi-

ta. Por tanto, para que la órbita no se modifique, es preciso que no haya emisión de energía. Ahora bien: la teoría clásica prescribe que todo electrón animado de movimiento acelerado—como ocurre con el que recorre una órbita curvilínea—engendre un campo electromagnético variable, es decir, emita energía. Esto llevaría consigo la imposibilidad de órbitas estacionarias, pues el electrón debería agotar su reserva de energía y acabar por fundirse en el núcleo. Por tanto, los postulados de Bohr niegan la validez de la teoría electromagnética clásica al ser aplicada a un electrón y obligan a admitir que las órbitas estacionarias están como rodeadas de una membrana impermeable a la radiación que impide la emisión de energía.

Para explicar toda la complejidad del espectro del hidrógeno le basta ya a Bohr sentar un nuevo postulado:

Cuando un electrón cae desde una órbita en la que posee la energía W_1 , a otra en la que la energía es W_2 , se produce la emisión de una radiación monocromática, cuya frecuencia ν , multiplicada por el quantum de acción h , es igual a la diferencia de dichas energías:

Cuando emite radiación el átomo.

$$h\nu = W_1 - W_2. \quad [7]$$

He aquí cómo se explica, mediante este tercer postulado, la emisión de las diversas rayas del espectro del hidrógeno. De todas las órbitas cuantistas por las que puede optar el electrón, la más estable será la más interna, por ser la de menor energía total, del mismo modo que una esfera puede encontrarse en equilibrio sobre cualquiera de los peldaños de una escalera, pero el equilibrio es más estable cuando llega al peldaño inferior. En estado normal, la mayor parte de los átomos de hidrógeno tendrá sus electrones en la órbita in-

ferior, y no habrá luminescencia. Cualquiera de los medios empleados para excitar la producción del espectro, por ejemplo, la chispa o el arco, hace que en algunos átomos salga el electrón de la primera órbita y vaya a parar a alguna de las más exteriores. Con ello, según resulta de [4] y [9], disminuye su energía cinética, pero crece la potencial, siendo fácil ver que el crecimiento de esta última es doble de lo que disminuye la primera. En resumen, la energía total crece, de modo que el paso de un electrón a una órbita más exterior va acompañado de una absorción de energía.

Cuando cierto número de átomos tiene los electrones repartidos por órbitas diversas comienza la luminescencia. Ocurre que, por una causa desconocida, pero que podemos comparar al pequeño golpe que basta para que la esfera de nuestro anterior ejemplo ruede de peldaño en peldaño, los electrones comienzan a desprenderse de las órbitas externas y van cayendo en las interiores. En cada uno de estos saltos ocurre lo contrario que en el proceso de excitación. Si el electrón parte de una órbita caracterizada por el número cuántista n_1 y llega a otra órbita en la que el número cuántista es $n_2 < n_1$, para que el electrón se acomode a las condiciones de la nueva órbita es preciso, según el segundo postulado de Bohr, que se mueva más de prisa, es decir, que su energía cinética experimente un incremento que se deduce de la fórmula [4]:

$$\Delta E_{\text{cin}} = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} \left(\frac{E}{e}\right)^2 \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right). \quad [8]$$

Pero, al mismo tiempo, como el electrón se acerca al núcleo, la energía potencial experimenta una disminución:

$$-\Delta E_{\text{pot}} = \frac{4\pi^2 m e^4}{h^2} \left(\frac{E}{e}\right)^2 \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right), \quad [9]$$

que resulta ser doble del aumento experimentado por la energía cinética. Por tanto, el electrón se encuentra con un exceso de energía y se desprende de ella lanzándola al espacio en forma de radiación. En un campo gravitatorio, la energía potencial perdida por un cuerpo que cae se transforma íntegramente en energía cinética, porque no hay energía radiada; pero si al caer va tropezando con una serie de diapasones y poniéndolos en vibración, sólo una parte de la energía potencial perdida se convertirá en fuerza viva: el resto se manifiesta como energía sonora. En el átomo de Bohr, y como consecuencia de los postulados establecidos, ocurren las cosas de modo que la disminución de energía potencial se reparte en dos porciones iguales: una sirve para comunicar al electrón la fuerza viva que necesita para permanecer en su nueva órbita; la otra se convierte en energía radiante.

A cada salto posible corresponde, según el tercer postulado de Bohr, una raya espectral cuya frecuencia ν viene dada por la fórmula:

Origen de las rayas espectrales

$$\nu = \frac{1}{h} (W_2 - W_1) = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} \left(\frac{E}{e}\right)^2 \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right). \quad [10]$$

En el hidrógeno, $E = e$ y la fórmula [10] puede escribirse así:

$$\nu = R \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right), \quad [11]$$

que con valores convenientes para el número entero n_2 , y haciendo variar n_1 , da las fórmulas empíricas de la serie ultravioleta de Lyman ($n_2 = 1$), la visible de Balmer ($n_2 = 2$) y la ultrarroja de Paschen-Ritz ($n_2 = 3$), así como la de Brackett ($n_2 = 4$), descubierta recientemente en la porción ultrarroja. Además, la teo-

ría de Bohr permite calcular el número de Ridberg R en función de las constantes universales que figuran en [10]. Con

$$e = 4,77 \times 10^{-10}; \quad e/m = 1,77 \times 10^7;$$

$$h = 6,55 \times 10^{-27}$$

resulta

$$R = 3,27 \cdot 10^{15}.$$

Conviene hacer notar una circunstancia de gran interés, a saber: que la frecuencia ν de la onda emitida no guarda relación inmediata con las frecuencias de los movimientos de rotación del electrón en las órbitas de partida o de llegada.

Es como si un diapasón que vibra con determinada frecuencia produjese ondas sonoras de frecuencia diferente.

Los postulados de Bohr para los átomos más complicados.

Bohr ha extendido sus postulados a los átomos más complicados de los elementos que siguen al hidrógeno en el sistema periódico. En esencia admite que en el edificio atómico son posibles determinados estacionarios, y que se puede pasar de unos a otros mediante una especie de cataclismo que pone en libertad cierta cantidad de energía, la cual se convierte en radiación monocromática con una frecuencia ν dada por la fórmula cuantista:

$$h\nu = W_2 - W_1.$$

Esta fórmula, combinada con un esquema representativo de los diferentes estados posibles en cada átomo y con un principio de selección, sistematiza todas las rayas espectrales, incluyendo los rayos X, pues permite calcular la frecuencia ν de todas las rayas características de un espectro si se conocen las energías W correspondientes a cada uno de los estados estacionarios del átomo considerado. Es lógico, sin embargo, que se haya tratado de penetrar

más a fondo, generalizando el modelo planetario, que tan maravillosos resultados ha dado en el hidrógeno.

De este modo, y guiándose, en primer lugar, por el estudio de los espectros de rayos X, por las regularidades del sistema periódico, por el ferro y el paramagnetismo de los cuerpos, por su valencia, por las desintegraciones radioactivas, por la existencia de isótopos, en una palabra, teniendo en cuenta el conjunto de propiedades físicoquímicas de los cuerpos, establece Bohr que los átomos de un elemento cualquiera están constituidos por un núcleo central formado por gránulos de electricidad negativa, o *electrones*, y por corpúsculos de electricidad positiva, llamados protones. El número de protones excede al de electrones del núcleo en tantas unidades como indica el lugar que el elemento considerado ocupa en el sistema periódico, y, por tanto, quedarán en el núcleo otras tantas cargas positivas libres. Hay, pues, protones libres y protones neutralizados por electrones; éstos últimos no intervienen en el comportamiento eléctrico del núcleo, pero sí en su masa o peso atómico. De un modo aproximado puede decirse que hay tantos protones libres como neutralizados. En torno de dicho núcleo giran tantos electrones como protones libres hay en él, describiendo órbitas elípticas y perturbándose mutuamente, de un modo análogo a como lo hacen los planetas en torno del Sol. En conjunto, el átomo será neutro.

Los electrones que giran en torno del núcleo se agrupan en pisos que, contando a partir del núcleo, se denominan K, L, M, N, O..., los cuales representan órbitas posibles en las que caben, cuando más, determinado número de electrones (1×2 en el piso K, 2×4 en el L, 3×6 en el M, etc.). En dichas órbitas puede

Extensión del modelo planetario.

haber lugares vacíos, es decir, puede ocurrir que uno o varios de los electrones hayan sido lanzados a alguna de las órbitas más exteriores que, como ocurre en el hidrógeno, no contienen habitualmente electrones.

Lo que caracteriza a un elemento es la carga del núcleo, la cual crece de unidad en unidad a medida que se avanza en el sistema periódico. Al mismo tiempo aumenta de uno en uno el número de electrones giratorios.

De por qué en los rayos Roentgen no se manifiestan las regularidades del sistema periódico.

Ciertas propiedades de los cuerpos están determinadas por los electrones más exteriores. En particular las series ópticas están producidas por saltos entre órbitas superficiales. De aquí su periodicidad. En cambio, los pisos que intervienen en la producción de rayos X son los más profundos, lo cual explica de un modo natural el que los valores de los términos $\frac{W}{h}$, que sirven para calcular las frecuencias, tengan en los espectros de rayos X valores que varían de un modo continuo a medida que se avanza en el sistema de Mendelejeff, pues el electrón que se agrega al pasar de un elemento al siguiente queda, en general, más alejado del núcleo, y no puede, por tanto, enmascarar el aumento progresivo de la carga nuclear.

Al conocimiento de la manera como los electrones se distribuyen en las diferentes órbitas al completarse el edificio atómico de los elementos han contribuído poderosamente las medidas y las consideraciones teóricas de nuestro eminente compañero B. Cabrera, referentes al paramagnetismo, especialmente de las tierras escasas. Su teoría le ha permitido, hará cosa de un par de meses, precisar el hasta ahora vago concepto del radio atómico y calcularlo con una sorprendente exactitud. Asimismo, una buena parte de los perfeccionamientos introducidos en el esquema atómico, en lo que a

la emisión del espectro óptico se refiere, se deben a los trabajos del joven y ya eminente espectroscopista español M. Catalán. Los resultados de uno y otro se toman muy en cuenta, por ejemplo, en la última edición del admirable libro de Sommerfeld *Atombau und Spektrallinien*.

Los resultados obtenidos del estudio experimental de los espectros de rayos X conducen a adoptar para el espectro atómico un esquema más complicado que el admitido antes, pues la determinación de los bordes de las bandas de absorción en los diversos elementos ha revelado que el piso L se divide en tres subpisos, el M en cinco, el N en siete, etc., mientras que, según la teoría de Sommerfeld (1) acerca de la estructura fina relativista, serían de esperar dos subpisos en el piso L, tres en el M, etc. Aquellos subpisos cuya existencia ha sido revelada por los rayos X reciben el nombre de *anormales*.

Ya en los espectros luminosos se observó que faltaban muchas rayas de las previstas por la teoría. Prescindiendo de las rayas sumamente débiles, pudiera establecer Bohr y Rubinowicz (2) una sencillísima regla de selección que permite predecir las rayas ausentes. En el caso de los espectros roentgenianos la cuestión se complica algo por la existencia de los subpisos anormales; pero también logró Wentze' (3) establecer otra regla de selección del mismo tipo que la anterior e igualmente satisfactoria.

Estas reglas de selección revelan que en la emisión de las series espectrales existen ciertas circunstancias que no se deducen de los

Principios de selección y principio de correspondencia.

(1) Loc. cit., p. 408.

(2) *Physikal. Zeitschr.*, XIX, 441 y 465, 1918.

(3) *Zeitschr. f. Phys.*, VI, 84, 1921.

postulados de Bohr. Por esta y otras razones, el mismo físico ha completado su teoría con el llamado *principio de correspondencia*, que relaciona de un modo unívoco, en lo que a la intensidad y polarización se refiere, las rayas previstas en la teoría clásica (correspondientes a los diferentes modos de vibrar el edificio atómico y a sus armónicos) con las que resultan de la teoría de los *quanta*. El fundamento de dicho principio es, por ahora, tan misterioso como los dos postulados cuantistas; pero su utilidad se ha puesto de manifiesto al hacer más segura e intuitiva la teoría de los *quanta* y al servir de excelente medio de investigación en los casos en que, como ocurre en la teoría de Bohr de la estructura del átomo y del sistema periódico, no bastan sus dos postulados. En particular, el principio de correspondencia conduce de un modo natural a la regla de selección en el espectro visible.

La explicación de los subpisos anormales y la extensión a los mismos del principio de correspondencia constituye uno de los problemas que la experiencia plantea a la teoría. Es de esperar que su solución esté próxima y que con ello resulte una perfecta y, por ende, más claro nuestro conocimiento del átomo.

Cómo se ha abordado el cálculo de la energía que posee un electrón en una órbita dada.

El cálculo de las energías correspondientes a todas las órbitas posibles presenta considerables dificultades, pues ya en el caso del helio neutro (cuatro protones con dos electrones en el núcleo y dos electrones periféricos) se trata del famoso problema de los tres cuerpos. Sin embargo, ha podido ser abordado por dos caminos diferentes: el método de la separabilidad de las variables (1) y el de la teoría de las

(1) K. Schwarzschild: *Berliner Sitzungsber.*, 11 mayo 1916. P. S. Epstein: *Ann. d. Phys.*, L, 489, 1916. A. Sommerfeld: *Phys. Zeitschr.*, XVII, 491, 1916. P. Debye: *Phys. Zeitschr.*, XVII, 507, 1916.

perturbaciones (1). El primero es sólo aplicable cuando las variables son separables, es decir, cuando pueden elegirse las coordenadas de modo que cada impulso sea tan sólo función de la coordenada correspondiente. En cambio, según Bohr, el método de las perturbaciones, tan empleado en Astronomía, debiera ser utilizable siempre y resolver teóricamente el problema de un modo mucho más seguro, sencillo e intuitivo. Ahora bien: este orden de ideas aplicado al caso más simple después del hidrógeno, el helio neutro, conduce a un completo fracaso, pues, según los cálculos de Kramers (2), da una potencial de ionización de 20,6 voltios, mientras que el valor experimental es 24,6 voltios.

De aquí resulta, como hace notar Bohr (3), que la teoría es válida cuando se trata del movimiento de un electrón en el campo estático del núcleo, pero deja de serlo cuando se toma en cuenta el campo no estacionario debido a los demás electrones. En otros términos, la teoría de las perturbaciones, fundada en la Mecánica clásica, y tan útil en Astronomía, no sirve para el átomo. Esta anomalía no debe extrañarnos, pues, como dice Bohr, el campo perturbador de los electrones que giran en torno del núcleo varía con una frecuencia muy grande, y sabemos que en tales casos ha de emplearse la teoría de los *quanta* y no la Mecánica clásica.

Vemos que la explicación teórica de los ra-

Necesidad de buscar el punto de unión entre la Mecánica clásica y la teoría de los *quanta*.

(1) D. Coster y G. v. Hevesy: *Nature*, CXI, 79, 252, 962, 1923. Hansen y S. Werner: *Nature*, CXI, 322, 462, 1923.

(2) H. A. Kramers: *Zeitschr. f. Phys.*, XIII, 312, 1923. J. v. Vleck: *Phys. Rev.*, XIX, 419, 1922.

(3) M. Bohr: *Die Naturwissenschaften*, XI, 537, 1923.

yo X hace más imperiosa la necesidad de buscar el punto de unión entre la Mecánica clásica y la teoría de los *quanta*, ya que cada una ha demostrado plenamente ser válida en su propio terreno. A mi juicio, nos encontramos aquí en un caso análogo al que hubiesen planteado los experimentos de Knudsen con los gases ultraenrarecidos (1) si no se hubiese sospechado la discontinuidad de la materia. Los hechos demuestran que en los procesos energéticos que tienen su asiento en el átomo existe también cierta atomicidad, la cual no se revela en los demás fenómenos, del mismo modo que las propiedades características de los gases muy enrarecidos no se manifiestan en las condiciones ordinarias de presión.

Una dificultad lógica en la teoría de los *quanta*.

Pero hay en la teoría de los *quanta* una dificultad lógica que no existe al atomizar la materia, y es que en aquella teoría la discontinuidad afecta a la acción que, como producto de una energía por un tiempo, no es, por ahora, una realidad física, pues no sirve, por ejemplo, para ser tomada como variable de la que pueda hacerse depender el estado de un sistema. Por otra parte, la fórmula cuantista que regula los intercambios energéticos,

$$h\nu = W_2 - W_1,$$

no da valores discontinuos para la energía mas que cuando la frecuencia tiene un valor constante. En otros términos, existen *gránulos discretos* de energía para la radiación de determinada frecuencia; pero como hay espectros continuos que contienen todas las frecuencias posibles, es preciso admitir que hay una infinidad de gránulos de energía cuyo tamaño varía

(1) Véase, por ejemplo, J. Palacios: *Propietats dels gasos ultraenrarits*.

de un modo *continuo*. Hay que reconocer que esta mezcla de continuidad y de discontinuidad en el valor de la energía carece de la armoniosa sencillez característica de las nuevas orientaciones de la Física, y, por ende, resulta poco plausible.

No se crea, sin embargo, que no hay medio de expresar la teoría de los *quanta* de un modo más intuitivo. Lo que pasa es que en su forma actual se logra la explicación de los hechos observados haciendo el menor número posible de hipótesis. Cualquier otro punto de vista, por halagüeño que fuese, carecería por ahora de apoyo experimental. Consideramos, sin embargo, de gran utilidad cualquier nueva hipótesis orientada en este sentido para que, al ser utilizada como hipótesis de trabajo, permita plantear experimentos que contribuyan a dilucidar esta cuestión.

Como ejemplo de la posibilidad de desvanecer la dificultad de la hipótesis de los *quanta*, nos permitimos a continuación exponer su principio fundamental de manera que no intervengan más que magnitudes de las que sirven para fijar el estado de un sistema.

Supongamos que un proceso energético se verifica en un *tiempo de emisión* k y emite un tren de ondas *no amortiguadas*, a cada una de las cuales corresponde la energía ϵ . Hay que notar, ante todo, que no es evidente que el tiempo que dura el proceso de producción del tren de ondas coincida con el que tardan éstas en pasar por un punto dado, del mismo modo que el tiempo que tarda un badajo en golpear la campana no es el mismo que el que dura la vibración de esta última. En todo caso, el tiempo que hemos llamado k significa el que tarda el tren de ondas en desfilar por delante de un observador.

Si $W_2 - W_1$ es la energía total emitida en for-

Posibilidad de exponer la teoría de los *quanta* de un modo más intuitivo.

ma de radiación, el número de ondas que componen el tren valdrá :

$$n = \frac{W_2 - W_1}{\varepsilon},$$

y el período τ será :

$$\tau = \frac{k}{n} = \frac{k\varepsilon}{W_2 - W_1},$$

con lo cual resulta para la frecuencia el valor :

$$\nu = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{k\varepsilon} (W_2 - W_1).$$

Comparando esta fórmula con la hipótesis fundamental de la teoría de los *quanta* se tiene :

$$k\varepsilon = h = \text{const.}$$

Es decir, *si no hubiese amortiguamiento*, podríamos reemplazar la hipótesis cuantista por esta proposición que le es equivalente :

El producto del tiempo k que dura un proceso emisorio por la energía ε que corresponde a cada una de las ondas emitidas es igual a la constante universal h .

La emisión no es instantánea.

Como primera consecuencia de este punto de vista, resulta que todo fenómeno que origine la emisión de un tren de ondas requiere un tiempo finito. Este resultado se halla conforme con la experiencia, pues el número de ondas coherentes y *sin amortiguamiento apreciable* que se producen en una emisión es tal que es posible hacerlas interferir consigo mismas después de producir una diferencia de marcha del orden del millón de ondas. En la raya H_α corresponde esto a una longitud del orden del metro, y es difícil concebir que pueda ser emitida de un modo instantáneo una energía que ocupa un espacio tan considerable. Podemos, pues, predecir que el tiempo de emisión será mayor que $3,3 \pm 10^{-9}$ seg.

Si la experiencia demostrase que todos los

procesos emisivos tienen el mismo tiempo de emisión, o que cualquier onda transporta la misma energía, cualquiera que sea su frecuencia, la constante universal de Planck h se resolvería en el producto de dos constantes universales: el *quantum* de tiempo k y el *quantum* de energía ε .

Es de notar que, según la teoría clásica, un electrón animado de movimiento vibratorio produce un tren de ondas amortiguadas en el que la intensidad ε es función del tiempo t y vale

La teoría clásica exige que las ondas sean amortiguadas.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-\gamma t}, \text{ siendo } \gamma = \frac{8\pi^2}{3} \frac{e^2 \nu^2}{c^3 m},$$

donde c es la velocidad de la luz. Resulta, por tanto, que el amortiguamiento del tren de ondas debe ser proporcional al cuadrado de la frecuencia. Sabemos, sin embargo, que el proceso de emisión en el átomo de Bohr no puede asimilarse, ni remotamente, a las vibraciones de un electrón alrededor de una posición de equilibrio, y, por tanto, el resultado de la teoría clásica no es obstáculo para la validez de nuestra hipótesis. Veremos, por otra parte, que los resultados de Wien niegan toda validez a la proporcionalidad entre el amortiguamiento y el cuadrado de la frecuencia.

La teoría de Bohr nada dice respecto a este problema, pues considera únicamente el estado del átomo antes y después de la emisión, pero pasa por alto el tiempo que dura el tránsito de uno a otro y el número de ondas emitidas. Las medidas espectroscópicas ordinarias tampoco sirven para dilucidar la cuestión, pues se refieren a la radiación ya formada y procedente de un gran número de átomos. Es necesario recurrir a experimentos que sorprendan, por decirlo así, a la onda en el momento de su formación.

Experimentos que pueden decirnos algo respecto a la forma de producirse la emisión.

En este sentido son más o menos utilizables todas las medidas encaminadas a medir el *tiem-*

po de extinción (Abklingungszeit) de los procesos emisivos y, en particular, las llevadas a cabo por Wien (1) en los rayos canales.

Wien produce rayos canales en un cátodo perforado por un conducto capilar. Estos rayos canales penetran en un recinto en el que se mantiene, gracias a 10 bombas de difusión montadas en paralelo, una presión tan pequeña que hace imposible los choques entre los átomos. Por tanto, éstos se excitan durante su paso por el capilar, salen de él con una velocidad impuesta por el voltaje del tubo, y emitirán radiaciones hasta que todos los electrones hayan vuelto a la órbita más interna. Se obtiene de este modo un chorro luminescente de unos 13 milímetros de longitud.

Este rayo luminoso es recibido en un aparato espectroscópico que produce tantas imágenes como radiaciones simples contiene, y mediante una disposición especial ideada por Wien se mide la intensidad relativa a diferentes distancias de la salida del capilar.

Interpretación cualitativa del experimento de Wien.

A cierta distancia de éste, la intensidad disminuye exponencialmente, de donde resulta, a primera vista, que las ondas son amortiguadas. Sin embargo, el proceso es más complicado, y lo que se mide directamente no es dicho amortiguamiento, sino el resultado de un proceso complejo en el que interviene el número de átomos de hidrógeno que a la salida del capilar tienen al electrón en una órbita determinada, el tiempo que permanecen en la misma, la probabilidad de que salten a una órbita interior determinada, etc., etc. Mie (2) ha interpretado este experimento admitiendo que el tren de ondas es amortiguado según una ley que deja indetermi-

(1) W. Wien: *Ann. d. Phys.*, LX, 597, 1919, y LXVI, 229, 1912.

(2) G. Mie: *Ann. d. Phys.*, LXVI, 237, 1921.

nada, que el número de átomos que comienzan a radiar en un tiempo dado es proporcional al número de los que están convenientemente excitados y que puede prescindirse de los saltos intermedios. De este modo logra explicar la marcha exponencial de las curvas experimentales a cierta distancia del capilar, así como la desviación que ofrecen a corta distancia del mismo. Sin embargo, su interpretación es meramente cualitativa.

Aplicando nuestro punto de vista a las medidas de Wien se llega a conclusiones sumamente halagüeñas, según se hace ver en un trabajo que está pendiente de publicación en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*. No sólo se explica de un modo natural y sencillo la marcha de las curvas, sino que pueden deducirse los valores del tiempo de emisión k y del tiempo de espera τ , es decir, el tiempo que ha de transcurrir para que se reduzca en la relación $e:1$ el número de los electrones que en los diversos átomos ocupan la misma órbita. Ocurre, en efecto, que, de ser cierta nuestra interpretación, el tiempo de emisión viene dado, en primera aproximación, por el tiempo que necesita el chorro gaseoso para ir desde el extremo del capilar hasta el punto en que comienza la disminución exponencial de la intensidad. Resulta así, aproximadamente, $k = 1,4 \times 10^{-8}$ seg. tanto para la raya $H\beta$ como para la raya $H\gamma$, valor perfectamente admisible.

Parece indudable, por consiguiente, que el proceso de emisión no es instantáneo, sino que necesita un tiempo finito. Por consiguiente, si en un momento dado analizásemos un gran número de átomos excitados nos encontraríamos con que una buena parte de los mismos tiene sus electrones en período de emisión. Ya Planck (1) había llegado a idéntica conjetura, y dice que ello le indujo a modificar sus hipótesis

La hipótesis de la falta de amortiguamiento da una interpretación sencilla de las medidas de Wien.

en el sentido de que los estados cuantistas no son mas que límites ideales de todos los estados posibles. Sin embargo, renunció a este propósito desde el momento en que las medidas de W. Gerlach y O. Stern demostraron que los estados no cuantistas no se encuentran nunca realizados.

Aquí termino mi trabajo, con el temor de haber abusado de vuestra benevolencia y con el deseo de que el tema no haya perdido todo su interés al ser tratado con mis pobres medios.

(1) *Die Wissenschaften*, XI, 535, 1923.

Sección 4.^a

CIENCIAS NATURALES

DISCURSO INAUGURAL

POR

LUCAS FERNÁNDEZ NAVARRO

ACADÉMICO Y CATEDRÁTICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE MADRID

**Algunas consideraciones acerca de la teoría geológica
de las traslaciones continentales.**

COLEGAS Y AMIGOS QUERIDOS :

Estas fiestas de la inteligencia, que son los Congresos científicos, constituyen una especie de alto en la tarea, un breve descanso en la cotidiana labor, que debemos aprovechar para tender la vista hacia el camino que acabamos de recorrer y hacia el que inmediatamente se abre ante nuestros pasos.

Así, cada cual, aportando ante sus afines los frutos de su labor reciente y exponiendo los problemas que la misma le sugiere, viene, no a una escueta exhibición de frutos logrados, que en la revista o el libro podría difundir más rápida y ampliamente, sino a realizar un acto de camaradería, de hermandad, que refresque su espíritu y le haga sentir que no está solo. En nuestro caso actual, en que la reunión alcanza a dos pueblos del mismo solar, de la misma raza y de historias e ideales parejos, a dos verdaderos hermanos, este carácter de grata cordialidad no puede menos de acentuarse y aun de superponerse a toda otra consideración, incluso a las de orden científico, causa ocasional del acto que celebramos.

Respondiendo a este carácter y a estas circunstancias—honrado con la grata misión de dirigir las palabras inaugurales—, no vengo a exponeros el estudio de un tema de carácter concre-

tamente científico, que acaso no interesara a todos, puesto que no todos tenemos nuestra actividad polarizada en las mismas investigaciones. Debo elegir un asunto de bastante generalidad y de actualidad bastante para que, si yo acertara a exponerlo con discreción, todos podáis seguirlo con interés.

En el momento actual de las ciencias geológicas, no creo que haya tema que mejor satisfaga estas condiciones que la original y sugestiva teoría del geofísico alemán Alfred Wegener, con sus traslaciones continentales y su concepto de la plasticidad del globo terráqueo. Es, sin duda, una concepción que, concordando con los modernos datos de la Geofísica, viene a dar de la historia del planeta una teoría sencilla y clara en sus rasgos generales, cuando las viejas hipótesis se derrumbaban como andamiaje que prestó un día su utilidad en la construcción del edificio de la ciencia, pero que, rebasado por éste, había perdido su eficacia y comenzaba a ser un estorbo.

Piénsese que, al cabo, éste es el destino final de todas las teorías científicas. Hipótesis de trabajo que ayudarán al progreso de su ciencia, pero que un día, incapaces de explicar los nuevos hechos, tendrán que ceder el puesto a nuevas concepciones, a nuevas hipótesis. No hay que encariñarse demasiado con el andamiaje, que es lo secundario, sino con el edificio, que es lo principal. Y debemos hallarnos siempre dispuestos a abandonar las ideas, por útiles que nos hayan sido, cuando dejen de ser auxilio para convertirse en obstáculo.

El destino de la concepción wegeneriana será, sin duda, el de todas las que la precedieron: desaparecer, dejar plaza a nuevas lucubraciones del ingenio humano, cuando ella haya prestado la utilidad de que sea susceptible. Pero hoy por hoy es la actualidad, la herramienta apropiada, la teoría viva y fecunda. Aunque los espíritus con su instintiva tendencia conservadora se resistan a desprenderse de los viejos artificios que un día satisficieron su sed de saber, la nueva teoría se impondrá en breve plazo e informará durante un tiempo (¿cuánto?) el sistema todo de la Geología.

Es, pues, momento apropiado para que discurremos sobre la hipótesis de Wegener, la teoría «de las traslaciones continentales», como la llama su autor, o «de la deriva de los continentes», como se ha dado en decir más generalmente.

Dirigiéndome a un auditorio ilustrado de naturalistas, no necesitareé empezar por exponer la teoría. Publicaciones en casi todos los idiomas cultos y artículos en las revistas de todos los países la han vulgarizado suficientemente (1). Es la actualidad geológica, y no hay espíritu cultivado que no tenga de ella una idea bastante completa.

Pero sí debo hacer algunas consideraciones, que, aunque extrañas a la esencia de la hipótesis wegeneriana, explican la difusión rápida de esta teoría y su extraordinario poder de captación. Bosquejada ligeramente por su autor en 1912, la guerra mundial la impide salir de los medios germánicos, donde, no obstante las desfavorables circunstancias, levanta gran revuelo y fija la atención de geólogos y geofísicos. Es en 1922, cuando la tercera edición del folleto de Wegener expone completas sus originales concepciones, cuando la atención del restante mundo sabio converge hacia Wegener y su hipótesis. Y esta hipótesis, recibida en 1923 con hostilidad (no hay que olvidar que venía a destruir las ideas dominantes y que encontraba los ánimos todavía torturados por las pasiones nacionalistas), ha ganado hoy a casi todos los geólogos, cuenta en todos los países con entusiastas propagandistas y empieza a informar el cuerpo de doctrina de la Geología toda.

Y es que llegó a su hora. Llegó en el momento en que ya nadie podía dar crédito a la vieja ficción de la corteza que se enfría, se contrae y se arruga, como la piel de la consabida manzana. En el momento en que sometiendo a cálculo riguroso la teoría de la contracción se llegaba al resultado absurdo de una disminución de temperatura de miles de grados (2.400° C.), sólo en el transcurso del último ciclo geológico, o sea para el plegamiento terciario; en el momento en que era necesario, en fin, bus-

(1) Está expuesta con el máximo detalle hasta ahora en el libro del propio Wegener *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, cuya tercera y última edición es de 1922. De ella hay una traducción francesa por M. Reichel, *La genèse des Continents et des Océans* (París, Blanchard, 1924), y otra española excelente, por V. Inglada, *Génesis de los continentes y los océanos* (Madrid, Calpe, 1924).

Una crítica muy razonada y ecuanime de L. Joleaud se ha publicado el año anterior con el título «Essai sur l'évolution des milieux géographiques et biogéographiques» (*Bull. de la Soc. Géologique de France*, 4^e série, t. XXIII, n. 5-6, p. 205-257).

car una explicación nueva a la génesis de los continentes, de las cadenas de montañas y de los océanos, cuya pretendida historia geológica era incompatible con los recientes conceptos de la Geofísica.

Después del descubrimiento de la radioactividad, nadie puede ya hoy afirmar si el globo realmente se enfría, o si, por el contrario—como suponen físicos eminentes—, es manantial perenne de calor. La pretendida fluidez de la barisfera es incompatible con el modo de transmisión de las ondas sísmicas, escudriñado por la tupida red de observatorios que se extiende sobre la superficie de la Tierra. Los desplazamientos verticales de la corteza pierden su primitiva importancia, cediendo el lugar a los movimientos horizontales; y como no hay punto del globo sin plegamientos, nada hay de su corteza que escape o haya escapado a esta ley de los impulsos tangenciales. El principio de isostasia o flotación de la corteza en un substratum plástico se comprueba y se generaliza, con lo cual nuestras ideas sobre la estructura del planeta tienen que modificarse profundamente. El concepto de los geosinclinales se desdibuja, para dar lugar a la idea de un movilismo general incompatible con la supuesta permanencia de la distribución de los continentes y los océanos. Todo el antiguo edificio, con tanto entusiasmo levantado, que tan hermoso nos parecía, empieza a desmoronarse y nos pide substitución inmediata.

Y es en este momento cuando viene la teoría de Wegener, fundamentalmente asentada sobre los conceptos adquiridos de isostasia y movilismo, a poner de acuerdo los fenómenos todos con una causa general y única, explicando a la vez muchos hechos que hasta ahora habían parecido inexplicables; permitidme poner de ellos algún ejemplo.

Todos los geólogos y más los paleontólogos, habían sido llevados por el estudio de las formas vivas extinguidas a admitir la coalescencia, durante la era primaria, del Brasil, África, Madagascar, Australia, la India y la Antártida. Esta enorme tierra emergida de Gondwana, incompatible en absoluto con el volumen actual de los océanos, ha sido *descrita* por todos los geólogos, y muy particularmente por Suess; pero sólo Wegener, con su teoría, ha *explicado* su existencia y ha desvelado su historia.

Todos los geógrafos habían hecho resaltar las particularidades de la curva hipsográfica actual de la Tierra. Todos habían

señalado como curiosidad inexplicada e inexplicable la frecuencia de las altitudes medias de los continentes a los 100 metros próximamente, y de las profundidades medias de los océanos (4.700 metros). Sólo a Wegener le ha sido dado el encontrar una explicación del hecho de estos dos que podríamos llamar con él los niveles predilectos, explicación tan completa que le permite llegar a deducir lógicamente la evolución de esta curva hipsográfica, a trazarla tal como fué en las pasadas eras y como será en el lejano porvenir en que alcance el fin de su evolución (1).

La falta casi absoluta de sedimentos abisales entre los componentes de las series estratigráficas terrestres era un hecho tan conocido como inexplicable, que había llevado a los geólogos a la mayor confusión. En la concepción wegeneriana es una consecuencia lógica del proceso formativo de los océanos y de la historia evolutiva de la corteza.

Y no será necesario multiplicar los ejemplos, que brotan frecuentes a medida que vamos recorriendo los sucesivos capítulos del libro del geofísico alemán.

Pero, aparte de la razón de oportunidad que ha contribuido al rápido progreso de la ideas de Wegener, hay otra circunstancia—ésta intrínseca—que les ha permitido imponerse sin dificultad a los espíritus: me refiero a su sencillez y a la claridad de su exposición, que las hacen tan asequibles y tan amables. La curiosidad y la complacencia nos acompañan en el fácil recorrido a través de las páginas en que el autor las desarrolla.

Acaso esta diafanidad y esta concreción de los conceptos se debe en gran parte a que su autor, no siendo originariamente geólogo, no estaba cargado del bagaje de prejuicios y tecnicismos que a un profesional de la Geología le hubieran impedido ver claro en asuntos geológicos. Es común que al que se formó bajo el influjo de unas ideas directoras le sea ya imposible desprenderse totalmente de ellas. Son los árboles, que no dejan ver el bosque a quien se encuentra entre ellos, mientras que puede abarcarlo y apreciarlo en su totalidad el caminante que a él se acerca viniendo de los altozanos vecinos. Wegener, en efecto, no era naturalista, sino geofísico, y si hoy posee una cultura geológica extensa y sólida, realmente la ha adquirido después de la edificación de su teoría y por la necesidad de comprobarla,

(1) Véase la obra de Wegener, pág. 129 de la edición española.

aquilarla y defenderla. La misma observación inicial que le hace concebir el nuevo sistema, la correspondencia impresionantemente de las costas cisatlánticas y trasatlánticas, ni es el primero que la percibió, ni realmente tiene la trascendencia que alcanzan luego las bases del sistema: estado físico de los materiales internos, isostasia, deriva de los continentes, evolución pareja de la Fisiografía, de la Biogeografía y de la Paleoclimatología.

Hácese esto creer, contra lo que alguna vez he oído manifestar, en la conveniencia de que los cultivadores de disciplinas afines traspasen los límites de su especialidad e invadan y cultiven los otros campos. De ello no pueden derivarse sino ventajas, renovación de la ideología, puntos de vista nuevos. ¿A qué geólogo se le hubiera ocurrido la original explicación que da Wegener de la formación de los fiordos? Son éstos para la mayoría valles de erosión, en gran parte glaciár, cosa que no está muy de acuerdo con algunos de sus rasgos morfológicos. Pero el geofísico de Marburgo, al observar que estos accidentes se encuentran en el borde de los macizos que han soportado durante la gran glaciación cuaternaria enormes caparazones de hielo, piensa en una masa plástica que cargándose de peso se agrieta por sus bordes al extenderse horizontalmente disminuyendo de espesor. Y la explicación podrá no ser cierta; pero el hecho es que formas, dimensiones, emplazamientos, los caracteres todos, están de perfecto acuerdo con esta interpretación, que en el primer momento nos parece casi extravagante.

En el caso particular de que los geofísicos vengan a colaborar en las teorías geológicas, no hay por qué dolerse, sino congratularse; y muy desagradecidos seríamos si no tuviéramos en cuenta que conceptos tan fundamentales como la isostasia, la rigidez total del globo, la producción de calor por la desintegración de los elementos radioactivos y otros de menos importancia, a los geofísicos se los debemos. Lo que hay es que así el cultivo de la ciencia se hace más difícil, los problemas se complican y echamos de menos los cómodos tiempos aquellos en que la contracción por una supuesta radiación de calor a los espacios bastaba para explicarlo todo. Pero el fin primordial de la ciencia es acercarnos cada vez más a la verdad, aunque sean ásperos los caminos que a ella conduzcan. Las cosas son como son y no como a nuestra comodidad convendría que fueran. Hay que mirar de frente las dificultades y no ocultar, como el avestruz, la cabeza

entre las alas, creyendo inocentemente que así se salva el peligro.

Hechas las consideraciones anteriores, que, como ya anunciábamos, no afectan al fondo de la teoría, vamos a examinar con la rapidez que nos imponen las circunstancias de ocasión y momento algunos de los puntos que a más controversias han dado lugar.

* * *

Ha sido sin duda uno de ellos la negación de los puentes continentales. Es un hecho indudable la conexión de faunas y floras, durante períodos geológicos anteriores, entre continentes a que en la actualidad separan los grandes océanos. Para explicar semejante relación recurrieron los geólogos a suponer que de continente a continente existían entonces grandes tierras, extensos *puentes continentales*, que permitían el intercambio de seres vivos. Estas vastas extensiones emergidas habían desaparecido de manera más o menos catastrófica bajo las aguas oceánicas, dando lugar al desarrollo independiente y diferenciación de cada una de las faunas y floras así aisladas.

Grandes dificultades se oponen a la admisión de estos continentes intermedios, dificultades que trataron de vencerse con interpretaciones más o menos caprichosas de la historia terrestre. Pensemos, para concretar, lo que serían estos puentes al fin de la era paleozoica. Uno de ellos se extendería de América septentrional a la Eurasia, cuyas relaciones fáunicas se han prolongado hasta los últimos momentos del terciario y acaso (por el Norte de ambos continentes al menos) hasta el principio del cuaternario. Hasta el cretácico superior o acaso principios del terciario no se habría hundido el extenso puente tendido entre América del Sur, África y la Antártida, emplazado sobre el actual Océano Atlántico meridional. Por último, todo el Océano Índico estaría en aquel entonces cubierto por los puentes gondwánicos, tendidos entre África oriental, las tierras antárticas, el dominio australiano y la India, puentes desaparecidos en el cretácico inferior o ya en el jurásico.

¿Dónde se acumulaban entonces las aguas de los actuales océanos? La emersión hoy de semejantes bloques inundaría la Tierra toda, quedando tan sólo emergentes las más altas cadenas de montañas. Y esto sin contar con la idea hasta hace poco muy generalizada de la existencia de un continente Pacífico empla-

zado en la actual cuenca del océano del mismo nombre. O había que recurrir a la suposición, que nada abona, de un volumen de las aguas oceánicas muy inferior al actual, o había que llegar a extravagancias como la de que la tierra pacífica se había desprendido un día para ir a constituir la Luna.

Los más hubieron de atenerse a una especie de oscilación de océanos y continentes que llevara a las aguas del océano a ocupar alternativamente emplazamientos diversos. No era demasiado satisfactoria, desde luego, esta explicación; pero nuevas observaciones la fueron haciendo cada vez menos admisible.

En primer lugar, la falta casi absoluta de sedimentos abisales en las series estratigráficas, muestra que el carácter continental es permanente en los grandes bloques actualmente emergidos. Además, la topografía de los fondos oceánicos es completamente distinta de la topografía continental; y este hecho, que se va confirmando más a medida que los sondeos se multiplican, sería inexplicable sobre todo en el caso de los hundimientos recientes (Atlántico Norte, por ejemplo) si el suelo de los océanos no fuera mas que la superficie hundida de antiguos continentes. Por último—y ésta es ya razón definitiva—, la isostasia se opone en absoluto a dar carácter continental a estas supuestas masas recientemente hundidas, y demuestra la imposibilidad de semejantes violentos descensos en la vertical de grandes masas continentales. Las oscilaciones en la vertical sólo pueden explicar la formación de mares epicontinentales, de extensión restringida y mediana profundidad.

La primitiva coalescencia de las masas continentales supuesta por Wegener, rota sucesivamente por varios puntos y sumada a las traslaciones por deriva de los bloques resultantes, concilia el hecho innegable de las relaciones paleobiológicas con las adquisiciones recientes de la Geofísica, con la constancia del volumen oceánico y con la permanencia del carácter continental de los continentes actuales, pero no considerados aisladamente como pilares eternamente fijos, sino aplicada a las superficies totales que ocupan. Esta ley de permanencia se aplica también y con la misma salvedad a los océanos, cuyo emplazamiento ha variado dentro de ciertos límites por la deriva de los bloques continentales antes unidos en una masa única. Por último, el hecho de que las relaciones fáunicas sean más generales cuanto más atrasada sea la época en que se consideren está de perfecto acuerdo

con la teoría de Wegener y no halla perfecta explicación en la vieja concepción de las tierras intercontinentales.

Sin embargo, muchos paleontólogos se aferran aún a los fantásticos puentes continentales hundidos, sin que parezcan haberse enterado de la imposibilidad de su existencia, hoy demostrada plenamente por la isostasia. Oponen a la teoría de la coalescencia ciertos detalles de conexiones fáunicas todavía inexplicados, sin pensar que tampoco los puentes continentales responden, ni mucho menos, a todas las preguntas que se les hacen. Cuando esto ocurre no dudan en atribuir la deficiencia a falta de datos; y para que los casos sean menos numerosos, tienden puentes a la ventura y con abundancia, por los que su fecunda y acomodaticia imaginación ve pasar rápidas las manadas de especies extinguidas, como ganado trashumante que obedece al mandato de pastores y rabadanes.

Las medidas de coordenadas geográficas de diversas estaciones, sobre todo las diferencias de longitud entre dos puntos determinados, parecen indicar que las derivas continentales son un hecho. Sin embargo, hasta ahora estas operaciones no tenían una precisión suficiente para permitirnos afirmar que los errores de observación no fuerán del orden de las diferencias a medir. Actualmente la telegrafía sin hilos permite apreciar con toda exactitud la diferencia de longitud de dos estaciones cualesquiera, y se han emprendido en este sentido trabajos sistemáticos, cuyos resultados podrán conocerse dentro de algunos años. Geólogos y geofísicos esperan con impaciencia el final de las observaciones, que si demuestran la realidad de las derivas continentales reducirán el campo de lo hipotético en el sistema wegeneriano y harán más probable la realidad de sus restantes supuestos.

* * *

Cuestión también ampliamente debatida y en la que el triunfo de la joven hipótesis me parece indudable es la interpretación e historia de los datos referentes a la Paleoclimatología.

Impresionados los geólogos por el hallazgo de faunas y flores de indudable carácter intertropical en regiones hoy de clima glacial, como Groenlandia y el Espitzberg, pensaron que en las primitivas edades de la tierra una elevada temperatura uniforme y un fuerte grado de humedad reinaban sobre toda la superficie del

globo. Imagináronse, para explicar el hecho, cambios astronómicos que nada abona y que no hemos de detallar, porque pueden verse en los tratados clásicos de Geología. Pero bien pronto el descubrimiento de restos glaciares cámbricos en Noruega, en China y acaso en África meridional, el hallazgo de estas mismas formaciones en el devónico de Australia y la India y otra serie de descubrimientos análogos destruyeron la idea de un clima tropical homogéneo en todo el globo.

Se pudo comprobar que un mismo lugar había pasado sucesivamente, a través de las edades geológicas, por diversas condiciones climáticas. Las faunas y floras del Espitzberg, por ejemplo, que tienen un carácter claramente intertropical en el carbónífero inferior, son subtropicales hacia el final del paleozoico, semejantes a las templadas de la Europa central de hoy durante el jurásico y cretácico, para llegar paulatinamente al riguroso clima polar que actualmente sufre la región bajo una capa constante de hielos. Más o menos comprobado en sus detalles, en todos los puntos del globo se señala un cambio paulatino de clima, bien en el sentido de tropical a polar, bien en el sentido contrario.

Estos hechos llevan, naturalmente, a la idea de un cambio de posición de los polos y, consiguientemente, del ecuador terrestre, idea muy combatida aún hoy mismo entre los geólogos, aunque ya la mayoría empiecen a rendirse a la evidencia y convengan—como Kaiser, por ejemplo—en que, sobre todo en el terciario, «es difícil evitar» el desplazamiento polar.

No hay, sin embargo, más que una manera lógica de afrontar el problema, y es ir a ver lo que nos dicen los fósiles animales y vegetales, con su organización y género de vida, sobre el medio en que se desarrollaron. También el suelo puede darnos datos preciosos de Paleoclimatología con sus restos morrénicos, indicio del paso de glaciares; con sus areniscas rojas, indiciarias de regímenes desérticos; sus depósitos de yesos y sales solubles, producto indudable de ambientes desprovistos de humedad, etc. Así podrán fijarse las sucesivas posiciones de los polos por vía inductiva, sin que ideas preconcebidas nos fueren a buscar su comprobación violentando la realidad de las cosas.

Los primeros intentos realizados en este sentido no fueron ciertamente afortunados, porque en ellos se partía de la permanencia y estabilidad absoluta de los actuales continentes. Así,