



# **El enigma de las pirámides**

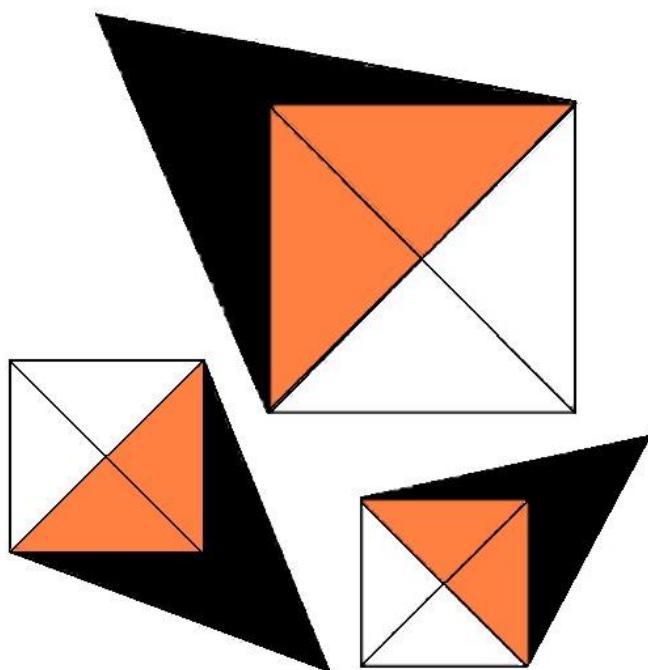
*José Alvarez Lopez*

JOSE ALVAREZ LOPEZ

COLECCION  
HORUS

# **EL ENIGMA DE LAS PIRAMIDES**

KIER



## INDICE

<b>INDICE -----</b>	<b>2</b>
Prólogo a la cuarta edición -----	4
Prólogo a la tercera edición -----	4
Prólogo a la segunda edición -----	5
Prólogo a la primera edición -----	5
<b>I LA ARQUEOLOGÍA DE LAS PIRÁMIDES -----</b>	<b>9</b>
El Complejo Piramidal -----	9
La Finalidad de las Pirámides -----	12
Las Tumbas Vacías-----	13
La Hipótesis del Heb-Sed-----	18
La Gran Pirámide -----	20
<b>II LA TECNOLOGÍA DE LAS PIRÁMIDES -----</b>	<b>26</b>
Introducción -----	26
El Transporte de las Piedras -----	31
El Trabajo del Hierro -----	34
El Trabajo del Granito -----	37
Las Máquinas–Herramientas -----	38
Los Trépanos Egipcios -----	43
El Tallado del Mármol-----	46
La Orientación -----	50
La Mensuración-----	54
Goniometría -----	56
El Calendario-----	62
Óptica-----	65
<b>III LA CIENCIA DE LAS PIRÁMIDES-----</b>	<b>68</b>
El Método Científico-----	68
La Evidencia Arqueológica -----	69
Ciencia Sagrada y Ciencia Profana -----	74
La Metrología -----	80
El Problema de Diodefre -----	83
Los Números Irracionales -----	86
Los Sólidos de Arquímedes-----	91
La Homogeneidad -----	94
Las Relaciones no–Homogéneas-----	96
Los Teoremas Métricos-----	98

Metrología Racional -----	101
Las Dimensiones de la Pirámide -----	102
Papiros Egipcios -----	106
Textos Metrológicos -----	109
La Cámara del Rey -----	112
Consideraciones Extemporáneas-----	121
La Altura de la Pirámide -----	122
<b>APÉNDICES -----</b>	<b>125</b>
<b>I LA PIRÁMIDE DE KEFREN -----</b>	<b>125</b>
<b>II ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA GONIOMETRIA EGIPCIA-----</b>	<b>133</b>
Estadística de las medidas -----	133
Error de medidas de instrumentos no-ópticos -----	134
Error de medidas de instrumentos no-ópticos. II-----	135
Error de una Base Meridiana Amojonada -----	136
Possible error instrumental egipcio. I-----	137
Possible error instrumental egipcio. II-----	138
Possible error instrumental egipcio. III-----	139
Conclusión -----	140
<b>III LOS TEOREMAS MÉTRICOS-----</b>	<b>140</b>
UN NUEVO TEOREMA DE ANÁLISIS DIMENSIONAL-----	142
Y SUS APLICACIONES -----	142
Aplicación geodésica-----	143
<b>IV LOS RAYOS CÓSMICOS EN LA INVESTIGACIÓN DE LAS PIRÁMIDES -----</b>	<b>147</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA-----</b>	<b>149</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA DE LOS APÉNDICES -----</b>	<b>154</b>

## Prólogo a la cuarta edición

*En el año transcurrido desde la anterior edición se han producido varias novedades vinculadas a la investigación piramidal. Una de ellas, quizás la más importante, es la conclusión del estudio realizado con Rayos Cósmicos ere la Pirámide de Kefrén. Esta operación –conducida por científicos de la Universidad de Berkeley (U.S.A.) bajo la dirección del profesor L. Alvarez-muestra por su alto costo (alrededor de trescientos mil dólares) la enorme importancia atribuida en él mundo científico a la investigación de las pirámides. En el Apéndice IV de la presente edición se incluye una completa reseña del proceso.*

*Existía el propósito de agregar a esta edición un quinto apéndice exponiendo los resultados ya obtenidos en la reciente arqueología cretense, desarrollada principalmente en la isla de Thera y que muestran al símbolo piramidal como de origen cretense y no egipcio como se había pensado hasta ahora.*

*Pero esta fase de la investigación arqueológica, que ha llevado a numerosos y eminentes arqueólogos a la conclusión de que una antigua y más extensa Creta fue la verdadera Atlántida de Platón, no está aún lo bastante avanzada como para permitir un informe concreto. Cabe consignar, sin embargo, que el significado Ctónico de la Pirámide (que como cono truncado simula un volcán) la vincula de manera directa a todas las religiones y mitologías del Mediterráneo Oriental.*

J. A. L.

Instituto de Estudios Avanzados Córdoba (Arg.) – Agosto de 1970

## Prólogo a la tercera edición

*Múltiples son las inquietantes preguntas que suscita el tema de las pirámides; muchas de ellas, milenarias; otras, preguntas que podemos formularnos modernamente.*

*Queda atrás la preocupación por el modo como pudieron movilizarse millones de bloques de varias toneladas de peso y desde distancias de miles de kilómetros; otros problemas más agudos polarizan nuestra inquietud al establecer que nuestra civilización –que consideramos "altamente tecnológica"– no ha logrado tuda-vía una ciencia, ni tampoco una técnica, de nivel comparable al de la supercivilización que planeó y edificó la Gran Pirámide de Gizeh.*

*Este es el gran enigma de las pirámides. Las preguntas se suceden, a partir de aquí, indefinidamente: ¿Esa supercivilización estuvo en la Tierra? Los constructores de la Gran Pirámide vinieron desde otro planeta? ¿Con qué finalidad realizaron tan tremendo esfuerzo? ¿Cuál es el mensaje que ellas encierran para nosotros? Podemos dar múltiples respuestas a estas diversas preguntas, mas ninguna aclarará el misterio de su origen y finalidad.*

*Pero las pirámides están ahí; podemos visitarlas, medirlas. Son un hecho tangible al alcance directo de la investigación científica. En contraste con otros elementos que también nos sugieren la existencia de una supercivilización, las pirámides tienen una realidad pétreas, concreta, inamovible que nos dice, en forma terminante, que nosotros no hemos inventado la civilización; que ha habido otra, u otras civilizaciones muy*

*superiores a la nuestra. Si ellas existieron en el pasado terrestre, la Gran Pirámide sería una inmensa señal, de peligro; si, en cambio, tal civilización está en otro lugar del Cosmos la Gran Pirámide sería la única prueba material de su existencia.*

*No es posible aún aclarar el enigma; pero la acogida dispensada a este libro por el público lector es, para el autor, un motivo de doble satisfacción: primero, por haber encontrado tan amplio eco para una larga preocupación; segundo, por mostrar el alto nivel alcanzado por la cultura latinoamericana. Respecto de esta Tercera Edición, ha sido ampliada con la adición de tres Apéndices, referidos, respectivamente, a "La Pirámide de Kefrén", al "Análisis Estadístico de la Goniometría Egipcia" y a "Los Teoremas Métricos".*

*Quiero aquí manifestar mi agradecimiento hacia la Editorial KIER cuya reconocida independencia ideológica y competencia editorial hicieron posible, estas tres excelentes ediciones de "El Enigma de las Pirámides".*

J. A. L.

Instituto de Estudios Avanzados Córdoba (Arg.), Noviembre de 1968

### **Prólogo a la segunda edición**

*Es en cierto modo paradójico dar una nueva interpretación al enigma planteado por las viejas pirámides, pero, como ha sido reconocido por eminentes autoridades, la tesis sostenida en este libro es no solamente nueva sino, además, inobjetable tanto desde el punto de vista técnico como arqueológico.*

*Esta solidez del argumento es fundamental en un libro donde se demuestra que la ejecución de las pirámides requirió una ciencia y una técnica más avanzada que las de nuestra época con lo cual queda dicho que tanto la arqueología, como la historia y la antropología exigen una revisión de fondo para todos sus conceptos.*

*La amplitud de la revolución así producida puede ser apreciada por cualquiera, pero, lógicamente, la rigidez de las ideas tradicionales, ya incorporadas a la cultura moderna, impedirá una pronta difusión de los nuevos puntos de vista.*

*En esta Segunda Edición no se ha querido introducir ninguna modificación con relación a la Primera dado que las críticas recibidas no han hecho más que afirmar la validez de los argumentos allí desarrollados. Se aprovecha, eso sí, esta oportunidad para agradecer las valiosas críticas, gentilmente enviadas por los arqueólogos Profesores Giveon (Haifa), Rosenvasser (La Plata), Possener (París) y Saver (El Cairo)*

*La cordial acogida dispensada a la Primera Edición –que hizo factible esta pronta reedición– debe ser agradecida por el autor que espera con ella fomentar la difusión de un tema que considera de importancia.*

J. A. L.

Instituto de Estudios Avanzados Córdoba (Arg.) – Abril de 1968

### **Prólogo a la primera edición**

*Una tarde del año 1880, G. W. Flinders Petrie –un joven inglés de unos*

veintisiete años- se embarcaba en el puerto de Londres con destino a Egipto: Se proponía demostrar de manera definitiva la realidad de las discutidas teorías expuestas veinte años antes por un astrónomo escocés de nombre Piazzi Smyth, según las cuales la Gran Pirámide era un monumento científico producido por avanzados sabios de la antigüedad que habían consignado en sus medidas y proporciones los datos más salientes del sistema solar.

Las cosas en Egipto no siguieron el rumbo deseado por el joven Petrie pues las mediciones del arqueólogo autodidacta no coincidían con las efectuadas por Piazzi Smyth. Éste era el fin de las teorías astronómicas de la pirámide; y en las palabras de un compañero de Petrie aquello fue algo así "como asistir a un funeral"...

No se crea, sin embargo, que las constataciones de Petrie desilusionaron a los buscadores de coincidencias piramidales. Hacia 1925 se contaban ya por cientos las obras dedicadas al estudio de esta "ciencia faraónica" que con diversas variantes repetían las relaciones establecidas por el creador de este género literario. Para esta fecha, los arqueólogos Borchardt y Colé - con la cooperación de la Survey of Egypt- organizan una expedición destinada a realizar exhaustivas mediciones con el máximo de precisión posible, que tiene como objetivo, aparte del puramente científico, el pulverizar definitivamente las teorías de los numerólogos. Las nuevas medidas confirman plenamente las anteriores de Petrie, y Borchardt escribe su libro "Contra la pretendida mística numérica de la Gran Pirámide" en el cual demuestra que toda la obra de Piazzi Smyth se basó en simples errores de medición.

Petrie no se limitó, sin embargo, a cerrar este capítulo en la historia de la arqueología piramidal. Su llegada a Egipto significó, en realidad, el comienzo de la investigación científica de las pirámides. Dejó, así, planteados problemas que aún no han tenido solución, tales como los vinculados a la extraordinaria tecnología que presidió la construcción de estos monumentos. Particularmente en la Gran Pirámide, constató Petrie las excelencias de una tecnología que fue capaz de desarrollar procesos técnicos tan evolucionados y poner en marcha herramientas de tal eficiencia que superan con holgura las capacidades de nuestra moderna Era Tecnológica. Así, por ejemplo, en relación a los trépanos para piedra egipcios, pudo mostrar su extremo poder de penetración -cien veces mayor que el de los más avanzados dispositivos de la industria petrolífera moderna. En relación con la producción de superficies ópticos, pudo descubrir que los bloques de mármol del revestimiento de la Gran Pirámide estaban "normalizados" con ajuste a las más estrictas normas de la industria óptica moderna. Para dar una idea de la magnitud de esta tarea tecnológica bastará decir que el tallado óptico de estos bloques de mármol de 16 toneladas cada uno representa una hazaña comparable - técnicamente- a la del pulido del famoso espejo del telescopio de Monte Palomar (U.S.A.). Piénsese que el revestimiento completo constaba de unos 25 mil bloques, lo que equivale a decir que los egipcios de la IV Dinastía habían logrado la producción en masa de lo que la industria moderna es sólo capaz de producir en escala artesanal.

En otro ejemplo, observando que los errores del encuadrado de la base de 230 metros de largo de la Gran Pirámide llegan apenas a los 3 milímetros, tenemos que preguntarnos sobre las técnicas empleadas por aquellos ya que nosotros únicamente podemos realizar una cosa semejante con el auxilio de cintas de Invar (aleación de bajo coeficiente de dilatación

térmica) y termómetros de precisión, que controlen la temperatura ambiente. Para dar un ejemplo final demostrativo de la capacidad de precisión de aquella tecnología, me referiré al paralelismo existente entre las pirámides de Kheops y Kefren, cuyas caras y bases son tan absolutamente paralelas que no bastaría para lograr este resultado el empleo de los modernos teodolitos de agrimensura.

La pregunta lógica frente a este despliegue de capacidad técnica –que cubre otros muchos aspectos analizados en el libro– es si tales hazañas estaban al alcance de la tecnología rural que le reconocemos al pueblo del Antiguo Egipto. La respuesta es obvia y con ella queda planteado un conspicuo enigma arqueológico.

Pero la presencia de una avanzada tecnología es sinónimo de la existencia de una avanzada ciencia. Habiéndose demostrado lo primero se abre el camino para lo segundo. Y esta ciencia, lejos de expresarse en una forma incipiente, aparece como un pensamiento de jerarquía, inobjetable para el moderno científico tanto desde el punto de vista de la exactitud métrica como desde el de la elegancia matemática. Las disposiciones logradas fueron producto de una larga y acertada meditación y la necesidad científica de que toda medida sea expresada con su "error standard" ha sido también tenida en cuenta.

En estas investigaciones han sido un auxiliar inapreciable los recientes avances en el conocimiento de la matemática egipcio-babilónica debidos a Neugebauer, Thureau-Dangin y otros. Y viceversa el redescubrimiento, por el autor, de los "Teoremas Métricos" permite ahora explicar algunas peculiaridades incomprensibles de la matemática antigua. Con la aplicación de los Teoremas Métricos –una técnica matemática desconocida para los geómetras griegos y modernos– los antiguos científicos lograron superar el para nosotros inevitable convencionalismo de las unidades de medida, lo que por comparación torna rudimentaria a nuestra moderna metrología. Este nuevo enfoque de la ciencia piramidal es desarrollado en la Tercera Parte del libro con el auxilio de una amplia bibliografía y contando, también, con la experiencia directa del autor en Egipto.

Mi impresión personal es que la ciencia y la técnica de los creadores de la Gran Pirámide estaban a un nivel superior al de la ciencia y la técnica que poseemos al presente.

J. A. L.

Arguello (Cba. Arg.) Otoño de 1965.

*a la memoria de SIR W. M. FLINDERS PETRIE, pionero de la piramidología*

## I LA ARQUEOLOGÍA DE LAS PIRÁMIDES

### El Complejo Piramidal

Dice el arqueólogo W. Müller (<sup>78</sup>) en sus estudios sobre la pirámide de Khmer (Cambodia-Indochina) que un monumento arqueológico no puede ser estudiado en sí mismo como una pura creación arquitectónica sino que es precisa su consideración asociándolo a los elementos circundantes y también a las circunstancias culturales del pueblo que lo erigió ya que su "estructura histórica" tuvo pleno significado para dicho pueblo, formó parte de su vida pública, sus festividades y su concepción religiosa del mundo y de la vida.

En el caso de las pirámides de Khmer es dable observar que aparecen como pirámides gradadas con su base cuadrangular orientada según los cuatro puntos cardinales y asociadas a un complejo estructural constituido por: 1) Un muro de encierro rectangular de grandes dimensiones orientado según los cuatro puntos cardinales. 2) Un templo situado en la cúspide de la pirámide. 3) Caminos de acceso que parten de puertas ubicadas en el muro. 4) Un lago que en las inscripciones aparece denominado "el mar" y en el cual la pirámide constituye una isla. Históricamente, la pirámide se vincula a la cúpula del rey con la diosa Nagy que lo visita en la primera vela de la noche, luego de lo cual aquél desciende a cohabitar con sus concubinas.

La pirámide de Khmer –como las pirámides egipcias– tiene un nombre cuyo significado explica una inscripción del ángulo N-O del muro: "Angkor es la joven esposa del Rey que él acaba de llevar a su casa ruborizada de deseo y vestida de mar".

En cuanto al análisis de estas estructuras nos llevan, dice Müller, a una concepción del mundo de muy antigua data en la que "el mundo" lo constituye la isla y lo que se prolonga más allá del lago corresponde al trasfondo de dicha cosmogonía ancestral.

El estudio arqueológico de las pirámides de México nos revela la misma asociación en el ordenamiento de sus elementos arquitectónicos. En México, como en Cambodia, la pirámide gradada de base cuadrangular orientada según los cuatro puntos cardinales sostiene un templo en la cúspide y se sitúa en una isla que lleva por canales a la pirámide ubicada en su centro y rodeada por un muro rectangular. En la relación de Hernán Cortés a Carlos V tenemos una descripción completa de la pirámide de Tenochtitlán (hoy, México, D. F.) que se alzaba en el centro de la isla lacustre asiento de la capital mejicana. Sus elementos estructurales fueron los mismos que hemos señalado para las pirámides de Cambodia y constituyeron el prototipo de todas las pirámides americanas, tanto de México como de Guatemala (<sup>78</sup>), Salvador (<sup>49</sup>), Bolivia (Tiahuanaco) y Perú donde se conservan muy bien las de Mochica-Chimú<sup>1</sup>. En

---

<sup>1</sup> D. E. Ibarra Grasso (comunicación personal).

particular, la pirámide de Sihuatán (Salvador) presenta un marcado parecido con la protopirámide del rey Zoser en Sakkara (Egipto). Como cuestión de importancia corresponde señalar que se han encontrado en México pirámides con galerías interiores en las cuales ha sido posible descubrir el esqueleto de un rey (<sup>78</sup>) enterrado en conexión con atributos asociables a la ceremonia de Babilonia y Egipto de la "apertura de la boca".

Conocemos poco de las ceremonias que se desarrollaban en estas pirámides americanas pero se sabe estaban asociadas a la muerte y resurrección del "Daimón" del Año, simbolizado por un joven que moría y era comido en un acto de Teofagia colectiva justamente en la época en que los españoles celebraban la Pascua con su Eucaristía de Teofagia simbólica.

Antes de pasar al estudio del complejo piramidal egipcio corresponde mencionar la circunstancia –estudiada en años recientes por arqueólogos y geólogos soviéticos (Jaguemeister)– de que la referida relación de Hernán Cortés coincide en todos sus elementos con el relato del sacerdote de Sais – mencionado por Platón en el Critias y el Timeo– que diera origen a la famosa leyenda de Atlántida. Los arqueólogos soviéticos observan que no puede tratarse de una simple coincidencia cuando tantos elementos estructurales se muestran en perfecto paralelismo en ambas, narraciones. Naturalmente, observan dichos arqueólogos, se presenta la posibilidad de que Hernán Cortés tuviera conocimiento del Timeo, pero esto no resuelve el problema pues lo que Hernán Cortés describió lo ha confirmado la arqueología posterior. En consecuencia, los arqueólogos soviéticos sugieren que ello puede ser una prueba de realidad para la Atlántida platónica.

Sin embargo, se pueden buscar otras explicaciones para estas coincidencias observando la presencia en el citado pasaje del Timeo de muchos elementos de indudable origen egipcio como por ejemplo la afirmación de que las piedras constituyentes de la legendaria Atlántida fueron de color blanco, rojo y negro que son, precisamente, los tres colores característicos de las construcciones egipcias; el juramento de los funcionarios atlantes ante una pequeña columna de piedra que nos hace recordar el pilar sagrado de Heliópolis –el "Yom" (<sup>22</sup>) que diera el nombre egipcio a aquella ciudad reproducido en la Biblia como "Om"– y finalmente la propia conformación del "complejo piramidal" egipcio nítidamente reproducido en la descripción platónica. Es dable observar, por otra parte, que este género de disposiciones estaba muy extendido en el mundo antiguo pues los propios judíos reprodujeron en el Templo de Salomón la configuración de los "Ziggurats" (<sup>83</sup>) en el famoso altar, y el "mar de bronce" con una designación muy sugerente.

La similitud de los monumentos de Egipto, América Precolombina e Indochina podrían encontrar su explicación en conexiones entre dichas culturas. Actualmente tiende a aceptarse esto aunque los arqueólogos están en desacuerdo sobre las vías de tal conexión. Algunos (Ibarra Grasso, Canals Frau) (<sup>20</sup>) afirman una conexión egipcio-americana vía India, mientras otros (<sup>49</sup>) prefieren ver una relación vía Atlántico por obra de marinos fenicio-cretenses del siglo XV a.C.

Nos queda por analizar la disposición de los Ziggurats de Babilonia, el más

famoso de los cuales fue la Torre de Babel (<sup>84</sup>). El ziggurat típico consistía en varias torres cuadrangulares una arriba de otras, pintadas de diferentes colores. Se orientaban de acuerdo a los puntos cardinales *según* sus diagonales y tenían en la parte superior una habitación sobriamente decorada con sólo un lecho en el cual, en la noche una sacerdotisa, según Heródoto (<sup>48</sup>), cohabitaba con el dios Marduk en persona. Es de observar el parecido que presentan los ziggurats con las pirámides de Indochina, América y también con las egipcias de Meidum y Sakkara.

Al pasar a ocuparnos de las pirámides egipcias no será necesario decir que tenían la misma disposición standardizada de las pirámides de América y de Indochina. Las pirámides egipcias estaban rodeadas del clásico muro cuadrangular y acompañadas de pirámides auxiliares cuya función no ha sido aclarada ya que –según Fakhry (<sup>34</sup>)– en ningún caso han servido de tumbas. Dentro del recinto rectangular se ubicaban varios templos destinados a diversas ceremonias y, al igual que algunas pirámides mexicanas, poseían casi siempre galerías subterráneas con cámaras en las que eran enterrados los faraones que las construían. Un camino, algunas veces cubierto –Camino Real– unía la pirámide con el "Templo del Valle" que era el punto de acceso de los cortejos ceremoniales. Era un imponente camino que en el caso de la gran Pirámide fue –según Heródoto (<sup>48</sup>)– una obra tan importante como la propia pirámide. Junto a la pirámide se cavaban en la roca agujeros en forma de barcas destinados a encerrar las "barcas solares" generalmente en números pares. El "Templo del Valle" era el desembarcadero a donde llegaban, obligadamente en botes, los participantes del cortejo fúnebre; en otros casos, un canal llegaba hasta la propia pirámide (Meidum). La asociación del agua con las pirámides es constante en Egipto a pesar de las circunstancias topográficas desfavorables. Los ceremoniales incluían un obligatorio viaje por agua para llegar a las pirámides y Heródoto habla, incluso, de lagos asociados a la Gran Pirámide que los arqueólogos no han podido descubrir.

Estas distintas disposiciones piramidales muestran ciertos nexos que implican conexiones históricas lejanas. Muchos arqueólogos han negado estas posibles conexiones argumentando que las pirámides mexicanas no tuvieron galerías interiores ni sirvieron de tumbas. Esto puede hoy rebatirse por los recientes descubrimientos arqueológicos (<sup>78</sup>) de pirámides mexicanas con dispositivos fúnebres similares en un todo a los egipcios. Además se conocen pirámides egipcias que no poseyeron cámaras ni galerías (pirámides de El Kola, Nagada, Deir el Bahri, etc.).

Se ha negado también la posible relación entre las pirámides egipcias y los ziggurats babilónicos aduciendo que aquellas se orientaban según los puntos cardinales de acuerdo a los lados y éstos en relación a sus diagonales. Pero la pirámide egipcia de El Kola se orienta según las diagonales colocadas en la dirección cardinal.

Es dable ver una relación entre los Ziggurats y las pirámides de Camboda por la ceremonia de cohabitación del personaje real con un ente divino que tiene el mismo contenido en ambos casos. En cuanto a la estructura arquitectónica, las pirámides de Camboda se vinculan directamente a las mexicanas y éstas a las de Egipto. Es posible que escenas de cohabitación del

tipo babilónico-cambodyense se desarrollaran tanto en las de México como en las de Egipto pero de esto no sabemos nada. Con todo, será importante para los estudios futuros tener en cuenta estas correlaciones que podrían sugerir posibles funciones ceremoniales asociables a las pirámides de Egipto que por el momento nos son desconocidas.

## La Finalidad de las Pirámides

Las pirámides egipcias estaban aparentemente destinadas a servir de tumbas y además eran el centro de un complicado y fastuoso ceremonial religioso. El complejo de templos, monumentos y pirámides auxiliares vinculados a ellas así lo atestigua.

Las investigaciones arqueológicas han probado sin embargo que en numerosos casos las pirámides egipcias no sirvieron, ni estuvieron destinadas a servir de tumbas. Un cúmulo de circunstancias aparecidas en recientes años sugieren para muchas pirámides una función diferente de la específica de servir de tumba a la momia de un soberano.

Las primeras dudas con respecto a esta creencia tradicional surgieron a raíz de las afirmaciones de Heródoto (<sup>48</sup>) sobre que Kheops –el constructor de la Gran Pirámide– no había sido enterrado en ella. Es dable observar que los escritores de la antigüedad clásica participaban de la opinión de Heródoto. Es en los escritos posteriores de los comentaristas árabes que apareció esta idea.

El problema de si las pirámides de Egipto estuvieron en todos los casos destinadas o no a servir de tumbas puede ya hoy ser analizado, en una forma global con referencia a numerosas pirámides cuyo estudio arqueológico lleva a una conclusión negativa. Es éste uno de los puntos más apasionantes de lo que se ha dado en llamar la "crisis de las pirámides" en el seno de la ciencia egiptológica.

Un fenómeno que durante mucho tiempo pareció accidental fue el descubrimiento de una tumba sellada y vacía. En todos estos casos los relatos nos hablan del instante dramático de la apertura de los sellos del sarcófago y la general consternación al descubrir que el mismo se hallaba vacío.

Encontrar vacío un sarcófago en una tumba anteriormente visitada por ladrones era cosa perfectamente natural. Pero el descubrir sarcófagos vacíos en tumbas y pirámides cuyos sellos no han sido removidos resulta algo inexplicable. Sin embargo, estos últimos casos son ya suficientemente numerosos para que pueda hacerse un estudio sistemático de los mismos. Hay una amplia diferencia entre encontrar una tumba sellada y vacía como caso aislado, singular y accidental y considerar, por el contrario, a este suceso como un fenómeno general extensible hasta al 50% de tales monumentos. En el primer caso lo natural es hallar la explicación en un accidente de diversa naturaleza –un secuestro frustrado, una revolución religiosa, un descuido, etc. En el segundo, debemos hallar una explicación general aplicable a la mayor

parte de tales casos. Tejer una novela histórica –como la del supuesto robo del cadáver de la reina Hetepheres y su segundo sepelio en Gizeh con el completo desconocimiento por parte de Kheops de la desaparición de la momia de su madre– es desde luego, una actividad agradable para el arqueólogo que ingeniosamente la formula y, también, un motivo de grato esparcimiento para el lector. Pero cuando los casos se multiplican y hay que urdir una nueva intriga policial para cada situación, el desarrollo del tema va dejando de pertenecer al encuadre de una ciencia.

Un expediente sencillo que eliminaba muchos problemas era suponer que toda tumba robada contuvo una momia y con ella incluidas fabulosas riquezas que hicieron la fortuna de su profanador. Pero cuando se observa que el 50 % de las tumbas que los arqueólogos han visitado por primera vez –es decir antes de que ningún ladrón haya podido adelantárseles– se encuentran sin momias, lo más lógico es pensar que los ladrones de tumbas también debieron pasar por tan desagradables experiencias luego de una búsqueda trabajosa en la que debieron superar la pertinaz habilidad de los arquitectos egipcios para tornar inviolables... tumbas vacías.

## Las Tumbas Vacías

Todas las tumbas de los soberanos egipcios de la I Dinastía encontradas hasta ahora han resultado vacías. Es en cierto modo natural que tumbas construidas 3000 años antes de Cristo hayan podido ser robadas a lo largo de 5000 años, pero dichas tumbas presentan la extraña particularidad de ser dobles. En efecto, los reyes de la I Dinastía se hicieron construir, cada uno, dos tumbas, una en Memphis (frente a Sakkara) y la otra en Abydos (en la frontera desértica del Alto Egipto) <sup>(30)</sup>. Un mínimo de meditación nos revela que la mitad de estas tumbas debieron estar vacías pues cada soberano disponía de una sola momia. Pero las circunstancias arqueológicas nos presentan a ambos grupos de tumbas como absolutamente idénticos no pudiéndose determinar cual era la real y cual la falsa tumba. Desde el punto de vista científico cabe afirmar que la mitad de las tumbas de la I Dinastía estuvieron vacías y, en la alternativa, que todas lo estuvieron.

La explicación de este fenómeno es por ahora difícil, y diversas hipótesis han sido adelantadas por los arqueólogos, entre ellas <sup>(30)</sup> la de que la "tumba" en Abydos estaba destinada al rey en su calidad de monarca del Alto Egipto y la "mastaba" en Memphis al mismo rey en su calidad de monarca del Bajo Egipto. Es sabido que los monarcas egipcios llevaban los dobles emblemas correspondientes a los dos reinos (doble corona, dobles atributos de mando, etc.) y que en las ceremonias del Jubileo (heb-sed) desarrollaban las etapas por duplicado, una vez por cada reino. El problema de la dualidad del monarca es un punto importante que merece ser tenido en cuenta frente a las contradicciones planteadas por la arqueología de aquel pueblo.

De cualquier manera que fuese, la costumbre de los reyes de la I Dinastía se extendió a los sucesores de la II Dinastía (2800 a.C.) <sup>(30)</sup> y llegó hasta Zoser en la III Dinastía.

Zoser (2700 a.C.) construyó la "Pirámide Gradada" en Sakkara (<sup>59</sup>). En frente de ella se encuentra una mastaba cuyas inscripciones y detalles ornamentales revelan que estuvo destinada a servir de tumba a Zoser, pero ésta fue de siempre (<sup>34</sup>) una tumba vacía. En cuanto a la pirámide misma, von Minutoli encontró en ella restos de una momia que atribuyó a Zoser, pero este punto es discutido por otros arqueólogos (Fakhry) (<sup>34</sup>). No existe, pues, evidencia de que Zoser fuera enterrado en ninguna de sus dos tumbas. Para algunos arqueólogos, la tumba del Sud representaba a Zoser como monarca del Alto Egipto y la pirámide gradada se asociaría a su calidad de rey del Bajo Egipto.

Un problema en términos más concretos es el planteado por la pirámide de Sekhem-Khet (Sakkara) descubierta en 1954 por Zacarías Goneim y a la cual llegaron los arqueólogos antes de toda violación pues los sellos de la tumba estaban intactos y el sarcófago de alabastro perfectamente sellado y con su mástico de pez y yeso intacto. Al abrirse el precioso sarcófago, ante autoridades y escribano público, se lo encontró completamente vacío; el análisis químico no reveló la existencia en su interior de vestigios de materia orgánica. Como detalle de interés los arqueólogos encontraron los restos secos de un ramo de flores encima del sarcófago: señal de que nadie había entrado allí en muchos milenios. Otra prueba quizás lo fuera las joyas esparcidas por el suelo. El caso de la tumba de Sekhem-Khet es de importancia para la arqueología. Como ha señalado H. Ricke (<sup>111</sup>), Goneim no encontró un tesoro pero sí algo más precioso para un científico: un problema. Como analizaremos esta cuestión más adelante, nos limitaremos a señalar la coincidencia de esta cuestión con el problema general que venimos considerando.

La "Pirámide en Capas" –en Zawiet el Aryan– es atribuida al rey Kha-ba; no se ha encontrado en ella ni sarcófago ni resto alguno de equipo funerario.

Continuando con la lista de pirámides gradadas –III Dinastía– llegamos a la llamada "Pirámide no Terminada" (Zawiet el Aryan) atribuida a Neb-ka (IV Dinastía) por algunos arqueólogos (<sup>34</sup>) en la cual se descubre un detalle sobre el que volveremos más de una vez: un sarcófago colocado en su lugar al comienzo de la construcción de la pirámide. Como veremos más adelante, esto puede indicar la intención de no hacer un sepelio. De todos modos, en esta pirámide se encontró el sarcófago de granito, ovalado, enterrado en el piso, con una tapa perfectamente pulimentada. Sus sellos estaban intactos, pero su interior apareció vacío. Maspero (<sup>71</sup>) estudiando los detalles asociados a este sarcófago llegó a la conclusión de que el mismo no estuvo destinado a recibir la momia de un soberano.

Dos pirámides gradadas, la de El Kola y la de Nagada, plantean un interesante problema, pues, aparentemente, ambas pirámides son macizas. La de El Kola es célebre por estar orientada al modo de los Ziggurats de Babilonia *don* sus diagonales según los puntos cardinales.

Con esto llegamos a Sneferu –en el 2600 a.C.– que fue el fundador de la IV Dinastía. Se atribuyen a Sneferu tres pirámides: una en Meidum (que Lauer (<sup>65</sup>) atribuye a Houni) y dos en Dashur. La de Meidum carece de inscripciones pero las circunstancias arqueológicas permitirían atribuirla a Sneferu. Las

pirámides de Sneferu señalan el comienzo de la "verdadera" pirámide (pirámide lisa) pues hasta entonces habían sido siempre pirámides gradadas – al estilo de los ziggurats y las pirámides asiáticas y americanas.

Cuando Máspero exploró la pirámide de Meidum en 1882 no encontró en ella ni sarcófago ni ningún elemento funerario.

La "Pirámide del Norte", en Dashur, es un imponente monumento que rivaliza con las de Gizeh por sus dimensiones. Sus inscripciones corresponden a Sneferu: "Fulgores de Sneferu". Fue explorada por Vyse y Perring (<sup>127</sup>) que no encontraron equipo funerario ni sarcófago.

Curiosa por su forma de tronco piramidal sobre el que se superpone otra pirámide –al modo de los obeliscos– es la "Pirámide del Sur" en Dashur, llamada también "Pirámide Romboidal". Tampoco se han encontrado en ella restos de equipo funerario, pero sus inscripciones la hacen corresponder a Sneferu.

Llegamos así a Kheops que fue hijo de Sneferu y de la reina Hetepheres. Como el estudio de la Gran Pirámide es el punto crucial de toda discusión egiptológica desarrollaremos el tema con mayor amplitud más adelante observando al pasar que en esta pirámide, según la tradición, el califa Al Mammun sólo encontró un sarcófago vacío.

El caso de la reina Hetepheres –cuya tumba se encuentra en proximidad de la Gran Pirámide– merece ser recordado aquí pues fue una tumba de Gizeh a la que los arqueólogos encontraron no visitada por ladrones. Los arqueólogos de la Universidad de Harvard (<sup>108</sup>) encontraron en 1928 una tumba con los sellos intactos y un sarcófago sellado ubicado en una cámara en la que había objetos de madera carcomidos por el tiempo junto a trozos de cobre y chapas de oro pertenecientes a cofres desintegrados por la edad. Al abrir el sarcófago –en medio de general expectación– el mismo apareció vacío.

El sucesor de Kheops fue Diódefre que hizo construir su pirámide en Abu Roasch (cinco kilómetros al norte de Gizeh). Su sarcófago se exhibe como curiosidad en el Museo de El Cairo por mostrar el modo como los artífices egipcios cortaban la tapa. El sarcófago está a medio terminar con las paredes aún no pulidas y, como he dicho, la tapa a medio cortar. No pudo, por tanto, ser utilizado por su dueño.

Sigue en la IV Dinastía Kefren –el constructor de la II Pirámide de Gizeh. Cuando Belzoni la visitó en 1818 encontró su sarcófago con la tapa quebrada y vacío. Un cúmulo de circunstancias sugieren que también se trató de una tumba vacía. Más adelante nos ocuparemos de ello.

En cuanto a la pirámide del sucesor de Kefren (Micerino), en la misma había un sarcófago con una cobertura de forma humana, hecha de madera, que el coronel Vyse envió a Inglaterra y que se perdió en un naufragio. Dicho cofre según los arqueólogos (Edwards) no corresponde a una talla de la época de Micerino, y en cuanto a los huesos el análisis con Radio-Carbón ha mostrado que corresponden a la Era Cristiana. Es evidente que el conjunto funerario corresponde a una restauración posterior. Lo más probable es que

Micerino no fuera enterrado en su pirámide pues ella no fue nunca terminada. Tanto las estatuas encontradas en su interior (<sup>30</sup>), como la propia pirámide y los edificios auxiliares quedaron incompletos aun en vida de sus sucesores que continuaron la tarea por aquél emprendida. Quedaron así, no terminadas, tres pequeñas pirámides auxiliares en una de las cuales se hallaron los huesos de una persona joven. Pero como los arqueólogos admiten en forma casi unánime que las pirámides auxiliares no estuvieron destinadas a servir de tumba cabe ver en esta ocupación funeraria simplemente una impostura posterior.

En conexión con los comentarios que anteceden, corresponde agregar que toda pirámide llevaba en la parte Sud una o más pirámides auxiliares cuya función se desconoce pero que en ningún caso estuvieron destinadas a servir de tumbas (<sup>34</sup>). En el caso de la pirámide de Meidum, la pirámide auxiliar fue encontrada vacía; las auxiliares de la Pirámide Romboidal y la Pirámide Norte (Dashur) no estuvieron nunca ocupadas. Lo mismo puede decirse de las auxiliares de todas las pirámides.

Shepseskaf, hijo de Micerino, se hizo construir una Mastaba-Pirámide de grandes dimensiones llamada la "Mastaba Fara-Un". El estudio arqueológico (<sup>34</sup>) ha revelado, positivamente, que nunca ha servido de tumba.

La V Dinastía se inicia hacia el 2500 a.C. con Userkaf que construyó una pirámide en Sakkara cuyo interior fue encontrado vacío.

La pirámide de Neferikare nunca fue terminada por tanto nunca fue utilizada como tumba. Su sucesor, Neferrefre, tampoco fue enterrado en su pirámide pues la cámara mortuoria no fue terminada.

En cuanto a la pirámide de Unas (Sakkara) su enorme sarcófago de granito negro fue encontrado intacto y vacío.

En la pirámide de la reina Neit se encontró un sarcófago sin tapa y vacío. La de Ibi (VII Dinastía) no fue terminada.

Un problema arqueológico interesante desde el punto de vista que aquí analizamos lo constituye el complejo monumental excavado en una montaña pétreas por Nebhepetre-Munhotep, perteneciente a la XI Dinastía, (2100 a.C.) en Deir el Bahri. El conjunto está constituido por un templo excavado en parte, con aplicaciones externas, encima del cual se encuentra una pirámide maciza puramente ornamental. El templo abajo y la pirámide en lo alto invierten en Egipto el clásico esquema asiático-americano del templo en la parte superior de la pirámide, nunca encontrado en Egipto. En la cámara mortuoria del templo se encontraron conos sagrados, botes de madera, pero ni restos de momia o equipo funerario. El templo-pirámide de Munhotep renueva el enigma de las "tumbas vacías" pues frente a la pirámide se encontró su segunda tumba con los sellos intactos. En su interior se halló (<sup>30</sup>) una estatua de caliza pintada, del rey, envuelta en vendas, es decir, tratada como un substituto de la momia.

Es digno de ser citado el hecho de que el iniciador de la XII Dinastía - Ammenemes I- construyó su propia pirámide con piedras robadas de pirámides y templos del Antiguo Imperio. Las piedras de esta pirámide ofrecen

a los arqueólogos una valiosa fuente de información habiendo algunos propuesto derrumbarla para su estudio exhaustivo.

Los sucesores de Ammenemes I tomaron extremas precauciones contra el robo de sus pirámides lo cual prueba que ya en aquella época era comente tal actividad. Se sabe que en la época de anarquía del incierto y largo reinado de Pepi II se efectuaron violaciones en masa de tumbas y pirámides. Pero la habilidad de los arquitectos de la XII Dinastía chocó con la aún mayor de los ladrones de tumbas que superaron sus corredores falsos, sus trampas, sus cámaras mortuorias excavadas en bloques de 100 toneladas de dura cuarcita con cierres automáticos –como la de Khendier que tenía un dispositivo "hidráulico" para descender por el escape de arena un bloque de 50 toneladas que cerraba la cámara mortuoria para siempre. Los ladrones, como es sabido, superaron todas las dificultades y violaron las cámaras. Los que perforaron el bloque de cuarcita de Ammenemes III prendieron fuego al contenido de la misma. Los que pacientemente violaron la de Khendier limpiaron y barrieron el lugar cuidadosamente. Es difícil saber la escena que allí se desarrolló. ¿La indignación de los ladrones respondió a un verdadero fracaso en la tumba de Ammenemes III? Un análisis químico de los restos carbonizados aclararía la cuestión. En el caso de Khendier bien pudo suceder que, como en muchos otros, los ladrones encontraron una tumba vacía.

Otro problema interesante lo ofrece la tumba de una de las princesas del complejo piramidal de Sesostris II en donde las joyas, por haber sido guardadas en un lugar alejado del sarcófago, fueron encontradas intactas por los arqueólogos. Los ladrones, se supone, se contentaron con robarse la momia.

Como fenómeno de interés en la línea de este estudio tenemos la duplicidad de las tumbas de Sesostris III quien además de su pirámide de Dashur tenía su tumba personal en Abydos –siguiendo la antigua tradición.

Ammenes III, sucesor de Sesostris, fue el Gran Rey famoso en la antigüedad como constructor del Lago Meris y del Laberinto, mencionado por Heródoto como rival de las pirámides por su magnitud. Se construyó dos pirámides, una en Hawara y otra en Dashur. No es imposible que ninguna le sirviera de tumba.

Concluiremos esta revista del problema observando que otros reyes en lugar de edificarse dos pirámides se contentaban con duplicar simbólica –o mágicamente– una de ellas. Esto aconteció con las pirámides de Ammenemes II y Sesostris I. Esta llevaba el doble nombre de "Protegidos están los Predios de Sesostris" y el de "Sesostris Vigila las Dos Naciones". En adición a esta duplicación la pirámide de Sesostris estaba incluida en un doble muro de encierro –un recurso mágico que aparece en otras pirámides.

## La Hipótesis del Heb-Sed

Es en vista de esta situación general que hemos expuesto que se ha tratado de encontrar otra explicación para las pirámides que la simple y tradicional de su puro significado funerario. Una explicación que cuenta con la simpatía de muchos especialistas es que las pirámides pudieron servir de marco a una ceremonia de muerte y resurrección de los reyes. Como ha sido revelado por los estudios de Reisner (<sup>107</sup>) en las pirámides de Meroe (Abisinia), los reyes de estas tribus –que realmente se hacían enterrar en tumbas piramidales– eran sepultados conjuntamente con sus súbditos. Es-trabón relata escenas coincidentes con estas observaciones, y los estudios antropológicos en las tribus africanas del grupo nilótico han revelado la persistencia de una antigua costumbre del Sudán y Egipto prehistóricos según la cual un rey no puede reinar por más de treinta años. Después de este período es muerto conjuntamente con su séquito y substituido por otro más joven.

A este respecto dice el arqueólogo Fakhry (<sup>34</sup>): "En algunas de estas tribus un jefe puede renovar su juventud por medio de ceremonias y sacrificios y así extender la duración de su reinado. En el alba de la historia los egipcios practicaron seguramente tales regicidios pero la muerte ritual de los jefes había cesado antes de la I Dinastía. Los jefes practicaban las Fiestas del Sed (Heb-Sed) como un medio de renovar su vigor juvenil y extender su reinado. La práctica del Heb-Sed continuó hasta el final de la historia del Antiguo Egipto. Existen muchas representaciones en relieve de estas ceremonias en las paredes de templos y tumbas. Lamentablemente, aunque conocemos estos relieves y leemos tales inscripciones estamos muy lejos de conocer el conjunto de estas ceremonias".

La más completa representación de las distintas etapas de la festividad está en el complejo de Zoser en Sakkara en donde encontramos numerosos edificios que constituyen lo que se llama el "patio del Heb-Sed". La enorme importancia de esta festividad, que se prolongaba a lo largo de mucho tiempo, hace que pueda decirse que todos los edificios del complejo estaban vinculados directa o indirectamente a la misma. En algunos complejos piramidales posteriores –particularmente el de Sahure (<sup>30</sup>) (V Dinastía)– solamente encontramos representaciones en relieve del Heb-Sed, destacándose una de las etapas de este ritual –el viaje en botes– que constituyó una obligatoriedad de toda festividad piramidal.

De la importancia atribuida a esta festividad en tiempos de Zoser son testigos los imponentes y bellos edificios de su complejo cuya majestad y sobria elegancia los hace partícipes de un nivel artístico solamente desplegado en fecha muy posterior por los arquitectos de la Acrópolis ateniense.

Los trabajos de restauración conducidos por el "Service des Antiquités de l'Egypte" –bajo la dirección del arquitecto J. P. Lauer– nos permiten contemplar hoy estas obras maestras de una arquitectura nacida perfecta en el alba de la cultura humana.

Es evidente que el desarrollo de las fiestas del Heb-Sed estaba asociado a

rituales de magia que han permanecido ignotos hasta hoy. Podemos colegir su importancia pensando que imaginar las obras monumentales del complejo de Zoser –o del complejo de Kheops– como destinadas al solo objeto de perpetuar la memoria de un rey ha sido de siempre inadmisible y Plinio, primero, y después cuantos visitaron Egipto, han deplorado la megalomanía de reyes que se hacían a sí mismos tales monumentos. Mucho más comprensible resulta para nosotros considerar, en cambio, que si la vida de un rey y la continuación de su mandato dependían de ciertas ceremonias religiosas era lógico que dicho rey impulsara las construcciones asociadas a las ceremonias de su "reelección" con todo entusiasmo y vigor.

Considerada la finalidad de las pirámides desde este punto de vista, todo se encauza por las vías de una explicación que no hace violencia a ningún sentimiento humano y que nos sugiere el sentido hasta ahora incógnito de tales monumentos. La "hipótesis del Heb-Sed" es una plausible explicación para la existencia de las tumbas vacías, de la multiplicidad de las tumbas de un mismo rey y de otros fenómenos hasta ahora inexplicados de la cultura egipcia.

Es perfectamente posible que tales ceremonias –secretas– representaran la muerte y el renacimiento del rey, y que se desarrollarían dos veces en su calidad de monarca del Alto y Bajo Egipto. Manetho dice que "Kheops ascendió en cuerpo y alma hacia el firmamento"; en su tiempo esto podía explicar que su momia no se encontrara en su pirámide, un hecho aceptado por los comentaristas de la Antigüedad. Pero mucho más ilustrativos son estos pasajes del "Texto Piramidal" de la cámara mortuoria de la pirámide de Unas: "Levántate ioh tú rey Unas! ¡Alza la cabeza, reúne los huesos, recoge tus miembros y sacude la tierra prendida a tu carne!" Y más adelante, en otra parte de los textos al describir los resultados del mágico mandato; "De ahora en adelante ya no duerme en su tumba, para que sus huesos no se descompongan. Sus achaques han desaparecido y el rey Unas va camino del cielo".

Como es sabido los "Textos de las Pirámides" y el "Libro de los Muertos" eran recitaciones mágico-religiosas originarias de la época arcaica que nunca sufrieron modificación posterior y que, con gran probabilidad, se conectaban a las ceremonias del Heb-Sed. Los textos se repiten mecánica y sistemáticamente a lo largo de milenios sin dejar nunca entrever el elemento ceremonial ni las enseñanzas secretas que les estaban adosadas. Pero su ritmo y sucesión nos permiten adivinar ciertos procesos del Heb-Sed. Ello puede ser sugerido por el clásico texto: "¡Oh rey mío! los servidores de Horus te purifican, te bañan y te enjuagan, rezan para ti la oración del camino recto y de la ascensión". Sabido es que la ceremonia del baño del difunto estaba incluida en los funerales. También es conocido por los antropólogos y psicoanalistas el significado del bautismo como simbólico de renacimiento.

Quizás a través de los textos piramidales se hayan filtrado otras ceremonias del Heb-Sed, que nos hacen recordar al canibalismo de las primitivas tribus en que el rey era comido por sus súbditos en ese proceso teofágico llamado "comida totémica" (<sup>36</sup>) que todos los grupos humanos han practicado alguna vez. Pero aquí es el rey quien come a sus víctimas pues el

texto piramidal dice: "El rey es el que se come a los hombres..." y agrega: "El dios estrangulador los despedaza para el rey y se los cocina al horno para la cena". Textos arcaicos que todavía en épocas posteriores reviven el recuerdo de bárbaras costumbres, posiblemente partes del ceremonial secreto del Heb-Sed.

Hay aquí amplio campo para la imaginación. Compete a los especialistas determinar el justo alcance que debemos atribuir a estas asociaciones. Para nosotros bastará sacar en conclusión que encontrar una pirámide con su cámara funeraria no es suficiente garantía para demostrar que allí recibió sepultura un faraón. Y esta rectificación de un concepto tradicionalmente aceptado es ya suficiente.

## La Gran Pirámide

Podrá parecer que las anteriores conclusiones de la arqueología moderna dan la razón a los numerólogos de la escuela de Pizzi Smyth cuyos argumentos tenían por base la afirmación de que la Gran Pirámide no estuvo destinada a servir de tumba sino que, a diferencia de todas las otras, fue un monumento puramente científico. Pero existe una substancial diferencia entre afirmar que la Gran Pirámide fue la única que no contuvo a la momia de su constructor y sostener que el fenómeno de las tumbas vacías fue un hecho general del Antiguo Egipto aplicable, tal vez, al caso de la pirámide de Kheops. La verdadera tarea arqueológica consistirá, pues, en establecer a cuál de estas dos categorías de tumbas perteneció la Gran Pirámide.

Comenzaré por recordar que Heródoto (<sup>48</sup>) –que según reconocen hoy los arqueólogos estaba generalmente bien informado– sostenía que Kheops no había sido inhumado en su pirámide. Dice el Padre de la Historia al referirse a la pirámide de Kefrén: "... ni tampoco posee la isleta que riega un canal derivado del Nilo y en donde, según dicen, están enterrados los restos de Kheops". Se refería a una isla situada en proximidad de la Gran Pirámide –desconocida para la moderna arqueología– y donde, en lugar de en la pirámide, habrían recibido sepultura los restos de Kheops.

Contradicidiendo los términos de Heródoto que fijan el lugar de la sepultura de Kheops, otro autor antiguo –Diodoro de Sicilia (<sup>20</sup>)– dice que su ubicación es desconocida, con lo que viene a coincidir con Heródoto en que no recibió sepultura en la Gran Pirámide. Dice Diodoro Sículo: "Aunque los dos reyes que hicieron construir estas pirámides tuvieron el propósito de que les sirvieran de tumba, ninguno encontró sepultura en ellas por la irritación de los pueblos que juraron retirar de ellas sus momias y reducirlas a pedazos. Los dos reyes fueron informados a tiempo e hicieron que sus amigos los enterraran en secreto y en lugar desconocido".

Estrabón (<sup>33</sup>) sólo comenta la idea ya expuesta por Heródoto de que en la tercera pirámide (Micerino) recibió sepultura una cortesana llamada Rhodopis (Ojos de Rosa).

Plinio (<sup>102</sup>) parece admitir la tesis de los dos autores anteriormente

mencionados, pues luego de afirmar que la construcción de tales monumentos fue una "estúpida y loca exhibición de riqueza real" pasa a observar: "En cuanto a la causa que determinó la construcción de tales monumentos, la mayoría cree que se trató de un intento de tales reyes para agotar sus tesoros más bien que legarlos a sus sucesores, rivales potenciales, o mejorar la condición del pueblo". No debe creerse que en esto Plinio se limitara a seguir lo dictado por Heródoto y Diodoro Sículo pues menciona una amplia bibliografía que no ha llegado hasta nosotros y entre cuyos autores aparecen, además de Heródoto, Eukemerus, Duris Samius, Aristágoras, Dionzelo, Artemidoro, Alejandro Polihistor, Butorides, Antisthenes, Demetrio, Démosteles y Apion. todos los cuales, según Plinio, se ocuparon de las pirámides.

Mil años más tarde, los autores árabes retoman el tema y aunque estos manuscritos no pueden compararse con la labor de los historiadores griegos y romanos –verdaderos historiólogos al estilo moderno– son de utilidad por recoger tradiciones de las cuales una vez descartado el aditamento de fantasía oriental es posible obtener interesantes indicaciones.

Quizá el primer autor árabe que se ocupa de las pirámides sea Abou Masher Jafer (890 d.C.) que relata una fábula según la cual las pirámides fueron construidas antes del diluvio con el objeto de preservar inmensos tesoros.

Posteriormente (958 d.C.), escribe Massoudi (<sup>72</sup>), y aunque el Akbar-Ezzeman de Oxford está casi destruido, el pasaje concerniente a las pirámides se conserva en buen estado. Según Massoudi, el califa Al Mammun Ben Harum Al Raschid (es decir, el hijo del famoso califa de las Mil y una Noches) habiendo venido a Egipto hacia 820 d.C. fue informado de que no era posible derrumbar las pirámides para ver qué contenían, por lo cual optó por el método más simple de hacer una perforación. Llegó así al interior de la Gran Pirámide donde sólo encontró unas monedas de oro que alcanzaban, exactamente, para pagar los gastos del trabajo realizado.

Abd Allatif (1157) es un autor árabe objetivo que se limita a observar la minuciosa exactitud con que han sido talladas las piedras de las pirámides, pero no menciona ningún hallazgo realizado en su interior.

Eddin Ahmed (Ben Hahya) (1350) se plantea el problema del objeto de la construcción de las pirámides y su conclusión da la impresión del fracaso de la aventura de Al Mammun: "Se ha afirmado que las pirámides fueron templos sagrados para las estrellas; que fueron tumbas o que estuvieron destinadas a contener tesoros y aún dicen que estuvieron destinadas a servir de refugio para el Diluvio; sin embargo, al autor le han parecido ser más bien tumbas. La Gran Pirámide fue abierta por Al Mammun pero no se encontró en ella nada que pudiera indicar ni la fecha ni el motivo para el cual fue construida."

Makrisi (1450), citando a diversos autores, desarrolla una "reverie" oriental según la cual fueron construidas antes del diluvio y llenadas de tesoros y talismanes, pero no menciona ningún hallazgo de Al Mammun.

Soyuti discrepa con la idea general de que fuera Al Mammun el primero en entrar en la Gran Pirámide y dice: "En el tiempo de Ahmed Ibn Tuloon un

grupo de personas entró en la Gran Pirámide y encontró en una de sus cámaras una copa de vidrio de maravillosos colores. Cuando Ahmed Tuloon fue informado de esto dio órdenes de que nadie entrara allí."

Abu Mustafá Yusef Ben Kozali (<sup>54</sup>) sostiene que Al Mammun halló tan sólo un recipiente con monedas de oro cuyo importe era exactamente el valor del trabajo realizado por aquel: "Encontró una vasija con monedas de oro que importaban exactamente el gasto de la obra. El califa quedó asombrado de la sabiduría de los antiguos que podían conocer con tanta exactitud los acontecimientos futuros".

En contra de la casi totalidad de los autores árabes que sostienen que Al Mammun no encontró nada en el interior de la Gran Pirámide, Kaisi (1100) describe un fabuloso tesoro de oro y piedras preciosas. Pero Kaisi no compromete su opinión sino que escribe:<sup>2</sup> "Se cuenta, que en la época de Al Mammun alguien entró a la Gran Pirámide y encontré en una pequeña habitación una estatua verde, del color de la malaquita, que contenía el cuerpo de un hombre revestido de una coraza de oro incrustada de toda suerte de piedras preciosas. Habiéndole llevado la estatua a Al Mammun él tomó para sí un enorme rubí del grueso de un huevo de pollo". Es difícil determinar a cuál pieza pequeña se refiere el autor, que no da ninguna certidumbre de la veracidad de su relato. Existe, sí, como han observado los arqueólogos, el conocimiento de los cofres antropoídicos de oro –como el de Tutankamón– pero nadie puede pensar que los mismos fueran desconocidos para los habitantes de Egipto acostumbrados al saqueo de las tumbas.

¿Qué validez debemos dar al pasaje de Kaisi? ¿Estuvieron todos los autores árabes –una parte solamente de los cuales he citado– equivocados y el único acertado y veraz debió ser Kaisi? Los arqueólogos del siglo pasado dieron mucha importancia a este pasaje considerándolo el único auténtico pero ello se debió a que en todos los casos conocidos hasta entonces los arqueólogos habían llegado a las pirámides después que los ladrones! Existe, por otra parte, la seguridad de que Al Mammun fue el primero en visitar el interior de la Gran Pirámide, cosa que cualquiera puede constatar personalmente en Egipto pues aún hoy los turistas entran por la galería excavada por Al Mammun, y no se concibe que el califa hiciera tales esfuerzos si la entrada hubiera estado abierta.

En cuanto a la validez histórica de los diversos relatos, en mi opinión el pasaje de Eddin Ahmed es el que mejor refleja la preocupación científica que debió presidir la operación emprendida por el califa Al Mammun que, como es sabido, fue un distinguido científico árabe, traductor de los filósofos griegos, matemático y astrónomo fundador de un observatorio en Bagdad. Dirigió la medición del grado terrestre por dos comisiones independientes de observadores. Siendo otra muestra de su entusiasmo científico la condición *sine qua non* de paz que impuso al derrotado rey de Grecia cual fue la entrega de un manuscrito del Almagesto de Ptolomeo.

Interesante será observar que el razonamiento de los arqueólogos del

---

<sup>2</sup> Citado por J. P. Lauer (63).

siglo pasado se desarrolló sobre las siguientes premisas: 1º) Si Al Mammun llegó antes que los ladrones al interior de la Gran Pirámide debió haber encontrado un enorme tesoro. 2º) Si no encontró tal tesoro es que los ladrones se le adelantaron. Ahora bien, la insistencia de los autores árabes en afirmar el fracaso de Al Mammun obligaba a pensar que los ladrones se le habrían adelantado, lo cual hacía inexplicable la costosa perforación emprendida por el mismo. En consecuencia había que pensar que todos los autores falsearon la verdad histórica de los hechos, salvo Kaisi que sería el único y verdadero historiador de la situación.

Hasta el año 1954 este razonamiento era aceptado unánimemente por los arqueólogos pues se tenía la seguridad de que todas las pirámides contuvieron enormes tesoros. Y el hecho de que los arqueólogos nunca encontraran nada en el interior de las numerosas (más de 70) pirámides exploradas se explicaba por haber sido antecedidos por los saqueadores de tumbas en todos los casos. Se justifica así la tensión de los arqueólogos –y el interés mundial– por el descubrimiento de la pirámide de Horus Sekhem-Khet donde, por primera vez en la historia de la arqueología, había sido posible encontrar una pirámide cuya cámara funeraria y sarcófago estaban inviolados. Antes de abrir el hermoso sarcófago de alabastro se tenía la seguridad de encontrar un tesoro estilo Tutankamón –de acuerdo con la convicción antes enunciada sobre la existencia inevitable de tales tesoros y momias en las pirámides.

En la mañana del 26 de junio de 1954, en medio de general expectativa, ante autoridades y escribano público para certificar el inventario, se procedió a la apertura del sarcófago de alabastro todos cuyos sellos se encontraban intactos y cuyo mástico de pez y yeso estaba inviolado –a más de la presencia de un ramo de flores secado por el tiempo que una mano piadosa depositó encima del mismo al cerrarse la tumba. Ante la sorpresa general el interior del mismo apareció vacío. Un análisis químico posterior del polvo del fondo y paredes no reveló la presencia de materia orgánica.

Si se analizan los episodios vividos por Goneim durante el proceso de su descubrimiento, se observa que reproducen etapa por etapa la aventura de Al Mammun. Para que no faltara nada en el esquema, también encontró Goneim un pequeño tesoro áureo en la galería de entrada, compuesto de 21 brazaletes, un collar y una caja de cosméticos en forma de concha que el propio Goneim (<sup>41</sup>) califica como "la perla de la colección". Es posible que el monto del hallazgo alcance a pagar los gastos de exploración. ¿Cabrá pensar que la Gran Pirámide y la pirámide de Sekhem Khet son los únicos casos de pirámides que no contuvieron nada en su interior? No debemos olvidar que los episodios vividos por Al Mammun y Zacarías Goneim nos son conocidos por la posición jerárquica de sus actores, pero las desventuras de los numerosos y anónimos profanadores de tumbas nos son necesariamente desconocidas.

El paralelismo entre la pirámide de Sekhem Khet y la de Kheops no se reduce al hecho de encontrarse vacías cuando llegaron a ellas los primeros visitantes. La cámara mortuoria de la pirámide de Sakkara no estaba terminada cuando se colocó en ella el sarcófago. La "Cámara del Rey" de la Gran Pirámide tampoco estaba terminada cuando fue clausurada.

Otro de los "misterios" de la pirámide de Sekhem Khet es que la mitad derecha de la galería de entrada se encuentra amurallada por una construcción de mampostería. Se han imaginado muchas teorías para explicar este curioso fenómeno. Pero sin entrar en el campo de la imaginación, el efecto inmediato de esta construcción es que es imposible sacar el sarcófago de la pirámide por ser de mayores dimensiones que el pasaje de salida. En la Gran Pirámide también es imposible extraer el sarcófago pues, como observa Petrie (88), la dimensión mínima del sarcófago es mayor que la máxima de la "Galería Ascendente". Todo esto implicaría que la colocación del Sarcófago en la Gran Pirámide fue hecha al comienzo de la construcción y que en Sakkara el sarcófago fue colocado *in situ* antes de la construcción del muro de obstrucción de la galería de entrada.

Es posible que esta cuestión de la colocación *ab initio* de los sarcófagos pueda ser indicativa de hallarnos ante una pirámide o tumba previstamente vacía pues el mismo fenómeno se repite en otras tumbas presuntamente vacías como la pirámide de Zawiet el Arian en donde el sarcófago aparece enterrado en el suelo y también en la pirámide de Kefrén donde, además de estar enterrado, todavía en el hipotético caso de que alguien quisiera sacarlo no podría pues las dimensiones del pasaje de entrada son inferiores en tres centímetros (Petrie) a las del sarcófago. Con respecto a esta última pirámide cabe observar que los autores de la Antigüedad la consideraron vacía y, recientemente, Pochan (105) observa que muy difícilmente se hubiera enterrado a un faraón en una cámara pintada de rojo vivo. ¿Podría pensarse que un rey fuera enterrado en la cámara mortuoria a medio terminar de Sekhem Khet? Lauer (61) se burla de quienes pensaron encontrar un tesoro a la Tutankhamón en la pirámide de Sekhem-Khet; yo creo que imaginar a un rey enterrado en la cámara mortuoria igualmente a medio terminar de la Gran Pirámide puede ser también motivo de burla. Un cortejo fúnebre en la Gran Pirámide hubiera resultado grotesco pues aparte de estar el sarcófago *in situ* – lo que privaba a la ceremonia del fastuoso transporte del sarcófago– el cortejo hubiera tenido que saltar por encima de tres enormes bloques de piedra (83) que se encontraban en la Gran Galería antes de su clausura. Como ha sido puesto de relieve por varios investigadores (11), (30) dichos bloques se encontraban allí desde el comienzo de la construcción y fueron utilizados para obstruir desde dentro la Gran Pirámide.

Los detalles que muestran que la cámara mortuoria de la Gran Pirámide estaba inconclusa cuando fue clausurada son numerosos. Por lo menos en la pirámide de Sekhem Khet el sarcófago estaba terminado, pero en la Gran Pirámide estaba recién serruchado y sin haber recibido el pulido final. El piso de la "Cámara del Rey" está todavía desnivelado, sin haber recibido el arreglo final necesario, y el pulimento de las paredes no está completado. Si se observa que el sarcófago fue colocado allí al comienzo de la construcción, resulta insólito semejante "descuido". No podemos imaginarnos a los antiguos egipcios corriendo –de un lado para otro como los modernos constructores de un edificio– que con seguridad no olvidarán detalles tan crudos como los "olvidados" por los nerviosos y agitados constructores de la Gran Pirámide...

Este conjunto de circunstancias parecerían indicar que la Gran Pirámide

fue una de tantas tumbas vacías.

## II LA TECNOLOGÍA DE LAS PIRÁMIDES

### Introducción

Por circunstancias ignoradas no poseemos ningún instrumento propiamente tecnológico egipcio ni tampoco se conocen representaciones de los mismos, textos en que se haga alusión a ellos y, por tanto, inclusive las palabras para su designación nos son desconocidas.

Se comprende que frente a este desconocimiento total el estudio de la tecnología egipcia deba basarse exclusivamente en la inducción de la naturaleza de los instrumentos partiendo del producto terminado y de los restos de su elaboración. Esto, desde ya, excluye el arribo a conclusiones incontrovertibles y, como se comprende, estos análisis estarán sometidos a una constante inseguridad determinada por las ideas generales que el tecnólogo, o arqueólogo, tenga con relación a la naturaleza de la cultura egipcia. En otros términos, el análisis tecnológico estará inevitablemente influido por las conclusiones generales de la arqueología.

Pero esto último no sería problema si hubiese alguna relación general entre las conclusiones del análisis arqueológico y las del análisis tecnológico. No ocurre tal cosa, y en líneas generales puede decirse que el análisis tecnológico de la cultura egipcia arroja resultados opuestos a los obtenidos por los otros métodos de análisis arqueológico. Esta oposición puede llegar a tales extremos que mientras el análisis arqueológico, por ejemplo, muestra una línea ascendente de evolución cultural desde la Primera Dinastía hasta la Época Ptolemaica, el análisis tecnológico señala una línea de ligero ascenso desde la I Dinastía (2000 a.C.) a la IV Dinastía (2500 a.C.)<sup>(23)</sup> para mostrar luego un proceso de declinación a lo largo de los tres milenios que van hasta la época ptolemaica.

Como lo puntualiza S. Lloyd<sup>(118)</sup>, es un misterio inexplicable el súbito grado de perfeccionamiento adquirido por el arte de la construcción en la III Dinastía y la incapacidad notoria de los constructores del Hipostilo de Karnak (derrumbado en 1899) que 1500 años después desconocían que los edificios requieren cimientos.

De ahí, pues, la necesidad del extremo cuidado que debe presidir la obtención de conclusiones por el análisis tecnológico. A esta altura de nuestro estudio ya tenemos planteado el primer problema cuya solución es fundamental para todos los análisis ulteriores: La inexistencia total de referencias sobre ciencia y tecnología, egipcias, ¿es puramente casual? Éste es un tema que ha sido largamente discutido por los arqueólogos que en general atribuyen al azar la desaparición de todo vestigio de la tecnología egipcia. Así, por ejemplo, una herramienta muy usada por los antiguos egipcios fue el taladro de piedras que operaba como los de hoy, dejando en el interior de la perforación un tarugo de piedra. Poseemos muchos de estos tarugos, muchas

perforaciones efectuadas con los taladros e, incluso, algunas piedras a medio perforar con el tarugo todavía dentro; pero ningún vestigio de la herramienta. Comentando este hecho Petrie (<sup>94</sup>) observa que el número total de tarugos que poseemos es sólo una fracción del total de tarugos que podía producir en su vida útil una sola herramienta de éstas. Vale decir que la probabilidad de encontrar la herramienta debe considerarse como muy reducida; por tanto, su desconocimiento debe ser una simple cuestión de azar.

Coincido con Petrie en esta observación que puede ser generalizada a todas las herramientas egipcias –que nos son desconocidas– pero el argumento no nos explica por qué jamás aparecieron en las inscripciones, pinturas y papiros que conocemos de la cultura egipcia ni representaciones, ni referencias, ni palabras alusivas a ninguno de los métodos y aparatos de ciencia y alta tecnología empleados por los egipcios. ¿Puede ser esto también una cuestión de azar? Utilizando el argumento de Petrie podemos probar lo contrario. En efecto, durante cuatro milenios los egipcios realizaron detenidas observaciones astronómicas, como lo prueban la precisión de su almanaque, la perfecta orientación meridiana de sus monumentos y sus conocimientos generales de astronomía; no obstante, no ha quedado ningún vestigio que atestigüe la naturaleza de dichas observaciones. Por el contrario, poseemos numerosas representaciones esquemáticas de los observatorios y métodos de observación de los mayas (<sup>78</sup>) a pesar de que esta cultura cubrió apenas un milenio de actividad, con muy pocos observatorios y observadores y, sobre todo, de que el volumen del material arqueológico dejado por los mayas es apenas la milésima parte del que poseemos procedente de la cultura egipcia.

La conclusión es obvia: no puede obedecer a una cuestión de puro azar la total inexistencia de referencias con relación a los métodos de observación de la astronomía egipcia. Y podemos extender esta conclusión al fenómeno del desconocimiento de todas las fases de su ciencia y su tecnología.

Esta conclusión se refuerza con el hecho de que la acción del tiempo debe en cierto modo ser eliminada de la cuestión. En efecto, sería hasta cierto punto natural que en nuestros días todas las máquinas y herramientas egipcias fueran desconocidas, pero los viajeros de la época clásica ya manifestaban su sorpresa por la ausencia total de dispositivos tecnológicos en relación a las pirámides. Plinio (<sup>102</sup>) relata que aunque por ninguna parte sea posible descubrir trazas de las máquinas y métodos empleados en su construcción, el espacio que rodea a la Gran Pirámide está lleno de piedras y restos constructivos. Para explicar la desaparición de las supuestas rampas empleadas en la construcción refiere la leyenda de la época según la cual éstas fueron construidas con una mezcla de sal y nitro de modo que haciendo pasar el Nilo a través de ellas todo fue llevado a una absoluta extinción. Diodoro Sículo (<sup>27</sup>) dice que, según los egipcios, los terraplenes construidos con sal y nitro fueron disueltos por el agua. Estrabón (<sup>33</sup>), por su parte, observa que junto a las pirámides se encuentran montones de lentejas petrificadas que, según una leyenda que él desecha, son restos del alimento de sus constructores.

No hay para qué dar crédito a estas leyendas pero ellas reflejan la sorpresa que producía ya para aquella época observar señales de abandono

rodeando las pirámides al tiempo que la extinción cuidadosa de todo vestigio de medios constructivos.

Frente a este total desconocimiento no queda otro remedio que deducir por el análisis del material terminado y los restos de su tecnología la naturaleza de las operaciones y herramientas. Pero un principio cardinal del análisis científico de la arqueología nos obliga a no admitir la existencia de algún método o herramienta sin pruebas concretas. ¿A dónde nos conduce en este caso la aplicación de este principio? Pues nada menos que a la conclusión de que los antiguos egipcios no poseyeron herramientas y efectuaron sus trabajos casi con las manos desnudas. De ahí que se plantee un problema de fondo en torno a la validez del análisis tecnológico confrontado con los otros métodos de análisis arqueológico que debemos, por obligación, estudiar en detalle.

Para ilustrar el problema comenzaremos con la muy simple cuestión del transporte de las piedras. Como es sabido, los egipcios construían sus monumentos valiéndose de piedras que transportaban desde distancias hasta de dos mil kilómetros. Mucho del granito egipcio procede de las canteras de Asuán. También hay caliza de Tura y hasta piedras etiópicas y de cerca del Mar Rojo. Para estos transportes disponían del Nilo pero también debían efectuar largos trayectos por tierra firme. Se supone que se valían de trineos de madera sobre los que arrastraban las piedras. Un equipo de cincuenta hombres podía arrastrar el bloque standard de dos y media toneladas de la Gran Pirámide por una rampa horizontal perfectamente lisa y firme. Por tanto, sin ningún dispositivo auxiliar de ruedas o rodado pudieron los egipcios efectuar el transporte de los dos millones y medio de bloques- de la Gran Pirámide. Esta idea del método se apoya en relieves que representan a obreros egipcios arrastrando trineos con piedras encima y, particularmente, en los relieves de El Bershe (XII Dinastía) donde se ve a una estatua de Dyejutijotep de un peso de 60 toneladas colocada sobre un trineo y arrastrada por 172 hombres (<sup>30</sup>).

En estos relieves aparece un personaje derramando un líquido lechoso sobre los patines del trineo –posiblemente para reducir la fricción y eliminar el calor. Los textos que acompañan la imagen hablan de la heroicidad de esta ciclópea tarea en la que los hombres se mostraron con fuerza de gigantes. Y en esto los textos coinciden con lo que podemos prever tecnológicamente ya que el calor originado por fricción y la ruptura de las cuerdas de palma y de sus puntos de enganche nos indican la extrema dificultad de esta tarea. Podemos, pues, fijar como un límite superior para la capacidad de arrastre de un grupo humano primitivo las 60 toneladas de la estatua de El Bershe.

El sentido épico y la heroicidad que acompañó la entronización de la estatua del rey en El Bershe es perfectamente justificable, además, si se piensa que fue una tarea comunal a la que seguramente asistió todo el pueblo como parte que debió ser de una ceremonia religiosa. Se justifica la existencia del relieve que dejó recuerdo imperecedero de la hazaña. Pero ¿cómo es que no ha quedado ningún recuerdo del transporte de los numerosos obeliscos de 1000 y 1200 toneladas que los egipcios distribuyeron por todo su territorio? Si el transporte de una estatua de 60 toneladas fue una tarea sobrehumana digna de ser inmortalizada en los fastos de un templo ¿cómo habría que

calificar el transporte de un obelisco de 1200 toneladas?

Los ingenieros franceses que el siglo pasado ergieron un obelisco, llevado desde Luxor, en la Place de la Concorde no pudieron menos que dejar representadas en su pedestal algunas de las fases de aquella, para la época, colossal tarea de erección del monolito. Pero los egipcios que los fabricaron, transportaron y erigieron por docenas no dieron ninguna importancia a esta tarea que pasó desapercibida. Como hace notar Clarke (23) el monolito de la Place de la Concorde requería para su arrastre una fuerza de 93.000 kilogramos que no podía ser suministrada por menos de 25.000 hombres. Pero con arrastrar el obelisco no bastaba, pues era necesario colocarlo arriba de su pedestal. Como la arqueología no admite otro método para esto que subirlo a la rastra por una rampa se haría necesario un esfuerzo adicional que para una rampa de 30% de pendiente exigiría el esfuerzo suplementario' de otros 50.000 hombres. ¿Puede alguien imaginar a 75.000 hombres arrastrando con cuerdas un obelisco y erigiéndolo en el patio de un templo?

El transporte de los obeliscos admite una sola solución: el empleo de rodillos bajo los trineos de transporte y el uso de aparejos para su izado – procedimientos conocidos de todos los primitivos de nuestros días y empleados por los pueblos antiguos.

Por otra parte, el antiquísimo empleo de la rueda en el Oriente hace muy improbable que los técnicos egipcios ignoraran la aplicación de los rodillos – origen prehistórico de la propia rueda. Pictografías representando carros con ruedas aparecen en Erech (Mesopotamia) hacia el año 2500 a.C. En Tell Agrab (Mesopotamia) se descubrieron modelos de cobre representando carros con ruedas correspondientes al 3000 a.C. De Asiria (3000 a.C.) se conocen carretas de juguete como las que todavía se usan en el Oriente (118).

En cuanto al empleo de aparejos, recientes investigaciones en Stonehenge (Piggott), muestran el empleo de estos dispositivos para el izado de los dólmenes. Sería sorprendente que los egipcios hubieran ignorado procedimientos conocidos por todos los primitivos (118).

Se ve, pues, que hay un contrasentido en la aplicación mecánica de los principios y requerimientos de la ciencia arqueológica cuando el problema es llevado a la fase técnica. Es evidente que la "prueba tecnológica" del conocimiento de los rodillos de transporte por los egipcios hace innecesaria la "prueba arqueológica" de su representación en figuras o su referencia en textos.

La *conclusión* que podemos extraer de este primer análisis es que la "prueba arqueológica" muestra que los egipcios arrastraban los obeliscos; la "prueba tecnológica" exige que los movieran sobre rodillos y los levantaran con aparejos.

Un segundo problema tecnológico-científico lo constituye la forma cómo los egipcios obtenían la dirección del meridiano. No existen inscripciones, referencias o escritos de donde pueda obtenerse algún indicio seguro sobre los métodos o instrumentos de observación astronómica que permitieron a los egipcios determinar la dirección del meridiano por la observación del sol o las

estrellas. Por tanto, la conclusión arqueológica obligada -y aceptada- es que los egipcios determinaban la dirección del meridiano a simple vista. No podían en consecuencia lograr ningún grado de precisión.

Pero las pirámides están orientadas con errores del orden de minutos con relación al verdadero meridiano de nuestros días. La conclusión arqueológica no puede ser otra, en consecuencia, que esta exacta orientación es fruto de la casualidad. Los egipcios pusieron sus monumentos a ojo según esta dirección y por casualidad quedaron orientados con exactitud. Y éste ha sido el parecer de numerosos arqueólogos que han investigado el problema; entre ellos Kees cuya opinión aparece nada menos que en el *Handbuch der Altertumswissenschaft* (<sup>51</sup>).

Recientemente, sin embargo, Zaba (<sup>134</sup>) ha publicado un trabajo producido por científicos de la Universidad de Praga de resultados del cual debe considerarse absurdo suponer que el azar pueda producir una reiterada y perfecta orientación Norte-Sud. Se concluye, por tanto, que aunque no mencionado y desconocido, los egipcios debieron poseer algún método de determinación del meridiano. Dicho autor estudió varios métodos posibles – que analizaremos más adelante– que pudieron permitir tales determinaciones. Es de observar que la precisión del instrumento egipcio debió ser del orden del segundo de arco y esto no es posible sin alguna clase de dispositivo óptico. De ahí, pues, que entre la "prueba arqueológica" y la "prueba tecnológica" se plantee una divergencia de fondo que resumiremos así: La "prueba arqueológica" exige que la orientación de los monumentos egipcios fuera hecha a ojo desnudo; la "prueba tecnológica" impone el empleo de instrumentos ópticos.

Para finalizar esta breve exposición introductoria de los métodos arqueológicos empleados en la investigación de la tecnología egipcia nos vamos a referir al taladro de piedra egipcio a que ya hicimos alusión anteriormente. El modo de funcionamiento de este aparato ha sido estudiado por Petrie (<sup>88</sup>), (<sup>94</sup>) con la colaboración de diversos técnicos y la conclusión ha sido que con los materiales que conoce la moderna tecnología no es posible construir una herramienta semejante. En efecto, los mejores taladros modernos, operando sobre cuarcita o diorita, logran una penetración máxima de 0,04 milímetro por vuelta, mientras que los taladros egipcios, como lo prueban las hélices dejadas en piedras excavadas y tarugos, penetraban cien veces más. No es posible para los tecnólogos modernos el construir, ni imaginar siquiera, un aparato semejante. Nuestro acero y diamante son insuficientes. ¿De qué estaba constituido el taladro egipcio? Uno de los tecnólogos consultados por Petrie afirmó que si un moderno ingeniero fuera capaz de construir un taladro semejante podría considerarlo como un triunfo; y Petrie subraya el aspecto deleznable de los tarugos producidos por los taladros modernos al ser comparados con los de la herramienta egipcia. Para complicar el problema, ocurre que dicho taladro ya era usado en la Primera Dinastía egipcia. Petrie (<sup>94</sup>) observa que en los comienzos de la I Dinastía se taladró el pórfido blanco y negro. Posteriormente, como en tantos otros casos, disminuyó la capacidad tecnológica de los egipcios.

Con lo visto bastará para que se comprenda que el estudio de la

tecnología egipcia no puede basarse en la aplicación mecánica de las tradicionales pruebas de la arqueología y que debemos recurrir a una sistemática ampliamente modificada. De otro modo nuestras conclusiones serán globalmente falsas; pues, por ejemplo, ¿cómo no admitir que los egipcios fueran capaces de emplear rodillos para el transporte cuando fueron capaces de medir ángulos con nuestra precisión de hoy y construir máquinas-herramientas superiores a las que produce la tecnología actual? No hay que olvidar que la presencia de un taladro como el egipcio no debe ser considerado un fenómeno aislado sin conexión con otros aspectos de la cultura. Una herramienta semejante no cae del cielo sino que requiere un trasfondo cultural y tecnológico de base muy amplia. Lo mismo vale para todos los aspectos de esta avanzada tecnología que vamos a analizar en detalle. Por tanto estamos obligados a dar a dicha tecnología un nivel mayor que el que se ha aceptado hasta ahora y considerar ridícula la imagen tradicional del egipcio arrastrando pesadas moles con sus manos –tan ridícula como es imaginarlo orientando sus pirámides a ojo desnudo o perforando la diorita con cinceles de cobre, como todavía pretenden algunos estudiosos de la egiptología.

Me complazco en concluir esta nota introductoria sobre la tecnología egipcia citando las palabras del científico de la Universidad de Praga Prof. Zaba (<sup>134</sup>): "Debemos estudiar con aprecio las ciencias de los antiguos. Como lo ha mostrado Struwe con sus estudios de la matemática de los antiguos egipcios y como lo prueban los notables tratamientos quirúrgicos en el dominio de la medicina del Papiro Smith hay que proceder a una revisión radical de nuestros conceptos en temas de la ciencia egipcia que hasta ahora han sido objeto de un tratamiento demasiado desfavorable".

## El Transporte de las Piedras

Uno de los más viejos interrogantes propuestos por las pirámides es el modo cómo los egipcios transportaban las piedras. Para los "turistas" de todos los tiempos –desde Heródoto hasta nuestros días– ésta ha sido una cuestión intrigante dado el enorme peso de algunos de los bloques empleados en las construcciones egipcias que pueden llegar a las cincuenta toneladas de los bloques del techo de la "Cámara del Rey" de la Gran Pirámide, las cien toneladas de los bloques de cuarzo en que excavaron la cámara sepulcral de la pirámide de Khendier (<sup>11</sup>), o las doscientas toneladas de los bloques del templo mortuorio de Micerino. Y aunque el término medio de los bloques de la Gran Pirámide no pase de dos y media toneladas, cuando se piensa que hay unos dos millones y medio de tales bloques –muchos de los cuales fueron traídos desde Asuán a 2000 kilómetros al Sud– se vuelve a plantear con seriedad la cuestión de las técnicas y medios empleados que para nosotros –hombres de una era tecnológica– resultan difíciles de ser explicados en ausencia de los implementos que nos son familiares.

Pero al tentar de determinar los métodos empleados por los egipcios la investigación retorna a un eterno punto muerto: ausencia de referencias y

elementos asociados a tales técnicas. En algunos casos aparecen referencias y noticias que deben ser puestas en tela de juicio por elementales consideraciones tecnológicas de modo que siempre se nota contradicción entre lo que hemos dado en llamar la "prueba tecnológica" y la "prueba arqueológica".

Vamos a comenzar el análisis replanteando un problema propuesto por Petrie. Se desconoce en absoluto la existencia de máquinas que pudieran haber empleado los egipcios en conexión con el transporte y la movilización de los bloques pétreos y tanto que la aseveración de Heródoto (<sup>48</sup>) de que se utilizaron "máquinas" para levantar las piedras es generalmente impugnada por los arqueólogos. Se concluye, en consecuencia, que los egipcios se limitaron a arrastrar las piedras ya sea empujándolas con las manos o ya sea tirándolas con sogas, como en los mencionados relieves de El Bershe y otros. Los detalles de estos relieves, por otra parte, parecen concordar con conocimientos generales obtenidos por otros conductos y que coincidirían en que el único procedimiento usado por los egipcios fue el muy elemental de arrastrar las piedras a lo sumo colocándolas sobre un trineo.

En contra de creencia tan difundida, Petrie (<sup>11</sup>) hace esta observación: En una cámara de la pirámide de Kefrén se decidió, una vez construida, introducir una piedra de dos toneladas para obstruir con ella, desde dentro, la entrada a dicha cámara. Se perforó para ello una abertura por la cual se introdujo la piedra que fue luego colocada en su sitio. Dada la posición de la piedra, la misma debió ser levantada en la estrecha cámara y como quiera que tal operación requiere de cuarenta a sesenta hombres, no habiendo en la cámara espacio disponible para más de diez, Petrie concluye afirmando que los egipcios poseyeron máquinas y, además, añade, "muy eficientes".

No se habla aquí sobre la naturaleza de tales máquinas pero la prueba tecnológica en este caso es decisiva: Los egipcios poseyeron máquinas –todo ello en contra de lo aceptado hasta ahora debido a la ausencia de pruebas arqueológicas.

La prueba tecnológica de Petrie es importante y merece ser confrontada con las afirmaciones de Heródoto que con relación a este problema decía lo siguiente:

"La pirámide (Gran Pirámide) fue edificada en gradas o basamentos, o de acuerdo con otros en forma de altares. Cuando la pirámide hubo sido completada en esta forma, elevaron las piedras subsiguientes hasta sus lugares por medio de máquinas formadas por cortos trozos de madera. La primera máquina las levantaba desde el suelo a la primera gradería. Allí estaba otra máquina que la llevaba a la segunda y de allí otra máquina a la tercera. Podía ser que en lugar de tener tantas máquinas como gradas, dado que las máquinas eran fácilmente móviles, llevaran una misma máquina de grada en grada –ambas explicaciones me han sido dadas y por ello las refiero a las dos".

El problema que se plantean los arqueólogos es sobre la existencia de tales máquinas y la afirmación de Heródoto es puesta en tela de juicio por no aparecer testimonios pictóricos, referencias escritas ni restos de tales

máquinas a todo lo largo de la historia egipcia. Aparte de ello, si aceptamos la existencia de máquinas para la elevación de las piedras en el Antiguo Egipto nos queda el problema de determinar su naturaleza. En este sentido han sido numerosas las tentativas de explicación.

Mencionaremos la idea de Petrie (<sup>58</sup>) de que los 56 grandes bloques del techo de la "Cámara del Rey" (Gran Pirámide) cuyas dimensiones son 8 metros de largo por 1,70 m por 1,30 m y un peso de 54 toneladas término medio pudieron ser elevados valiéndose del conocido procedimiento de balancearlos entre dos pilas de madera por medio de palancas de modo que a cada balanceo de uno de los lados de la piedra se introducía bajo ella otro "trozo corto de madera". Según el cálculo de Petrie, colocando las dos pilas de madera a una distancia entre sí de 80 centímetros la fuerza requerida sería de sólo 5 toneladas lo que permitiría la operación con la ayuda de diez hombres utilizando palancas. Seis equipos de éstos podrían elevar hasta su posición todas las piedras del techo en un año de trabajo.

Esta teoría de Petrie coincidiría con la descripción de las "máquinas" de que habla Heródoto y que según él estuvieron constituidas por "trozos cortos de madera".

Otros autores como Lauer (<sup>65</sup>) y Clarke (<sup>23</sup>) desechan la idea de Petrie y prefieren pensar en el "ascensor oscilante" ("rocker"), que aparece como modelo de madera en numerosas tumbas del Nuevo Imperio, como el recurso empleado para la elevación de las piedras. Este dispositivo, bien conocido por los arqueólogos, está constituido por dos trozos de madera paralelos unidos entre sí por travesaños y que por la forma curvada de la base permite una oscilación sobre el suelo como la de una hamaca. Se ha ensayado largamente ver cómo podría ser utilizado este dispositivo para la elevación de las piedras pero en la práctica no se ha logrado ningún resultado concreto. Por el momento la asociación del "rocker" con el movimiento de las piedras es puramente hipotética y prácticamente inefectiva, por lo cual recientemente Hans Strub-Roessler (<sup>118</sup>) propone palancas de madera con las cuales se podrían elevar las piedras. Pero, como observa Lauer (<sup>62</sup>) esto no coincide con los trozos cortos de madera de que habla Heródoto.

Demás está decir que todas estas tentativas presentan dificultades técnicas que aparecen cuando estos esquemas explicativos quieren ser llevados a la práctica. Por ejemplo, la clásica idea de que las piedras fueron elevadas por rampas es desechada por el doctor Ing. L. Croon pues por sí solas las rampas serían un trabajo equivalente al de la propia pirámide.

Así, pues, la conclusión es que debieron utilizar máquinas, como dice Heródoto, para la elevación de las piedras pero su naturaleza, por el momento, resulta impenetrable para los tecnólogos modernos. Lo único que queda en concreto es que existe una asociación arqueológica entre los rockers y el movimiento de las piedras en la cual coinciden todos sin acertar sobre la forma cómo pudieron ser empleados en tales funciones.

En cuanto al transporte de los grandes bloques debieron emplear rodillos ubicados bajo los varios trineos que el transporte de un solo obelisco requería.

Y el que no aparezcan representaciones de la operación debe ser considerado una cosa natural ya que los egipcios jamás representaron sus dispositivos tecnológicos avanzados.

El problema de los rodillos nos lleva directamente al problema de la rueda en Egipto. Hasta hace poco tiempo se creía que la rueda sólo había aparecido en Egipto en épocas posteriores (hacia la XII Dinastía) pero Clarke (33) ha podido probar que ya utilizaban ruedas aplicadas en la base de escaleras móviles en la V Dinastía (tumba de Kaemhesit en Sakkara). La pregunta es obvia, ¿desde cuándo las utilizaban antes de esta representación única en todo el Antiguo Imperio?

En El Cairo tuve oportunidad de ver las maquettes hechas por el egiptólogo Prof. Saver tomando como modelo representaciones de "rockers" de antiguas tumbas. Me llamó la atención en las maquettes del Prof. Saver el perfil circular de la base que permitía, tomando dos de ellas y colocándolas una encima de otra obtener un cilindro perfecto en cuyo interior se podía cómodamente ubicar una piedra. A mí me pareció que por este medio pudieron los egipcios transportar cuanta piedra quisieran. Teniendo en cuenta que hasta ahora no se ha encontrado ninguna aplicación ni explicación de estos rockers – ya que como digo son absolutamente inútiles para la elevación de las piedras– a pesar de estar siempre los mismos asociados al movimiento de piedras, la única explicación sería que los mismos no estuvieron destinados a la elevación de las piedras sino a su transporte por rampas.

Si así fueron utilizados –de a dos y no separadamente– el transporte de las piedras en Egipto y los rockers dejarían de ser dos misterios arqueológicos. Y dentro del espíritu de las cosas egipcias lo que cabría preguntar no es por qué no aparecen representaciones de los rockers en este plan de utilización sino cómo es que los propios rockers aparecen representados aunque sea por mitades. Un mecanismo destinado al transporte de piedras según este procedimiento podría lograrse colocando primeramente la piedra sobre uno de ellos y luego ajustando encima el otro. Si realmente los egipcios utilizaron así los rockers es una cuestión que demanda ulterior investigación, pero el procedimiento es viable técnicamente y más factible que el arrastre de los pesados bloques con las manos, como se ha aceptado hasta ahora.

## El Trabajo del Hierro

Otro de los problemas curiosos con que nos enfrenta la tecnología egipcia es el trabajo del hierro. No existe mención ni descripción referente al mismo en los escritos del Antiguo Imperio ni tampoco se conocen instrumentos ni herramientas fabricadas con él.

Heródoto (48) afirma que los constructores egipcios utilizaban el hierro. Además, como observa A. Rey (109) los agujadore representados en algunas tumbas están pintados de color azul, lo mismo que las espadas faraónicas, mientras que los cuchillos se representan con el color amarillo del bronce. Pero esto no es un testimonio definitivo en favor del antiguo uso del hierro por los

egipcios.

Se presenta de esta manera como inexplicable el que los egipcios pudieran trabajar el cuarzo, el granito, el pórfido, la diorita si no poseyeron herramientas de este metal; y la importancia de esta imposibilidad nos la da el especialista A. Lucas (<sup>68</sup>) cuando llega a la lógica conclusión de que los antiguos egipcios no pudieron trabajar el granito en canteras al carecer de hierro para sus herramientas. No obstante, puede probarse que los egipcios del Antiguo Imperio trabajaron las canteras de granito lo que, viceversa, probaría que conocieron las herramientas de hierro. Los 54 bloques de 50 toneladas del techo de la "Cámara del Rey" (Gran Pirámide) y los bloques de 200 toneladas del templo mortuorio de Micerino no pudieron ser encontrados a la orilla del río. Por otra parte, en los bloques del techo de la pirámide de Micerino se han encontrado huellas fehacientes de las cuñas de madera (wedges) humedecida utilizadas para la ruptura de los bloques de granito. Todo lo cual prueba que los bloques fueron extraídos de canteras.

Aparte de ello, se conocen en las canteras de Asuán muchas series de agujeros y ranuras rectangulares profundas y estrechas –excavaciones para la colocación de los tarugos de madera que luego de humedecidos rompían las piedras– los cuales, como dice Clarke (<sup>23</sup>) no se puede afirmar que los hicieron con herramientas de hierro pero sí se puede afirmar que no pudieron hacerlos con herramientas de cobre.

Añade este autor: "En todos los antiguos trabajos de piedra dura que han sido dejados en un estado sin terminar aparece con claridad que la piedra fue tallada con un instrumento de punta y es difícil aceptar que este instrumento fuera de piedra. En una estatua, de esquisto, sin terminar, de la época Saíta (Museo de El Cairo) las marcas de la herramienta pueden ser claramente vistas; cada golpe arrancaba un pequeño trozo de piedra sin ningún aparente desgaste y se puede seguir una sucesión de doce golpes sin que se note ninguna huella del menor desgaste del instrumento".

Si difícil es creer que pudieran hacer ranuras profundas en el granito sin instrumentos de hierro, resulta imposible imaginar que las continuas y rectangulares ranuras de las canteras de cuarcita roja de Gebel Ahmar fueran hechas con instrumentos de cobre o piedra. Aunque de fecha posterior, puede mencionarse la cámara tallada en cuarcita amarilla de la pirámide de Ammenemes III, en Hawara, y en donde las esquinas están tan bien cortadas que Petrie (<sup>89</sup>) creyó se trataba de dos bloques yuxtapuestos. Esto no podría hacerse sin instrumentos de acero bien templado.

Petrie (<sup>92</sup>) observa, por su parte, que conocemos cuatro muestras de hierro procedentes del Antiguo Imperio. 1º) Un fragmento de lámina de hierro encontrado en la pirámide de Kheops (IV Dinastía). 2º) Un trozo de hierro encontrado en medio de hachas de cobre teniendo la forma particular de la VI Dinastía, en Abydos. 3º) Una barrita de hierro que se pretende encontrada en la mampostería de una pirámide de Dashur. 4º) Una cimitarra que se dice fue descubierta bajo la base de la estatua de Ramses II. Y añade este autor: "La seguridad de autenticidad que nos ofrece el espécimen 2º nos permite aceptar la autenticidad de los otros tres".

Respecto del espécimen 1º, Petrie (11) hace un estudio del mismo en otro trabajo donde aclara que fue encontrado por Vyse en la mampostería del canal de ventilación Sud y añade que muy pocas dudas puede haber de la autenticidad de esta pieza de hierro forjado pues aparece adherida a su óxido una capa de roca nummulítica (calcáreo nummulítico) lo que probaría que por milenios estuvo allí la pieza. El único obstáculo para aceptar la autenticidad de las piezas sería la escasez de tales especímenes, por lo cual concluye Petrie: "No puede haber ninguna duda razonable de que este espécimen es una pieza genuina utilizada por los constructores de las pirámides, posiblemente para reforzar las palancas utilizadas en el movimiento de las piedras". Vyse (127) por su parte observa que el lugar en que fuera encontrada la pieza prueba que perteneció a la época de la construcción de la pirámide.

En cuanto a la naturaleza de los hierros encontrados en Egipto los hay que son meteóricos con un contenido de níquel hasta del 10%. Este tipo de hierro fue conocido por todos los pueblos antiguos y así los esquimales y los mejicanos han utilizado de siempre tales hierros meteóricos. Una pieza de hierro de Ur (3000 a.C.) muestra que era hierro meteórico (129). Los hierros de Babilonia tenían un contenido de 8% de níquel. Sin embargo, una muestra de hierro encontrada por Reissner (29) en la II Pirámide junto a una placa de flint con el nombre de Kheops –aparentemente empleada en la ceremonia de "apertura de la boca"– mostró en el análisis espectrográfico que no poseía ni trazas de níquel.

Parece ser que el hierro en Egipto era empleado en relación con la ceremonia de apertura de la boca y que debía ser hierro meteórico pues la palabra designativa (bss) (129) estaba asociada al cielo –en cierto modo un sinónimo antiguo de la moderna palabra "siderurgia". Ello señalaría el carácter sagrado de este material que impediría su utilización en usos profanos. Tal vez ello explicaría que a pesar de que por las huellas mencionadas se descubre un amplio uso del hierro en el Antiguo Egipto sólo por extremo accidente puede ser hallado.

Es posible que podamos asociar este misterio con la circunstancia analizada por Mircea Eliade (32) del carácter secreto de las cofradías de herreros. Pauwels (86) señala también el secreto asociado a la nitruración del hierro –conocido por edades en Oriente– pero recién traído a Europa por los cruzados. Si así fuera, nos encontraríamos ante un tabú del hierro y de la rueda extendido por todo el Antiguo Egipto y la América Precolombina. No nos compete analizar hasta sus últimos detalles este interesante problema, pero sí quiero subrayar la circunstancia de que durante milenios la rueda fuera conocida en Egipto en aplicaciones circunscriptas al interior de los templos antes que la misma ganara las calles y los campos de batalla –pero en este caso traída de fuera como si no hubiese sido conocida en Egipto.

La conclusión obvia es que los antiguos egipcios usaron ampliamente el hierro y que al igual que otros muchos dispositivos tecnológicos su empleo fue mantenido celosamente en secreto dando ello origen a un serio problema arqueológico de la tecnología egipcia al confundirse la ausencia de pruebas arqueológicas con la inexistencia de una tecnología.

## El Trabajo del Granito

Como es de esperar, los métodos empleados por los egipcios para la extracción del granito de sus canteras y las técnicas usadas en su ulterior manipulación nos son desconocidas. Ello se debe tanto a la total inexistencia de pruebas en este sentido cuanto a la peculiar modalidad del trabajo egipcio que en todos sus aspectos se nos aparece con una extraña heterogeneidad cuando lo comparamos con los métodos por nosotros conocidos para la realización de cualquier tarea. Así, por ejemplo, con referencia a los métodos constructivos, observa Clarke (<sup>23</sup>) que los sistemas y métodos de construcción de edificios en cualquier nación de la Tierra muestran ciertas similitudes, por lo cual cuando pasamos a considerar los métodos de los egipcios nos inclinamos a pensar que ocurrirá lo mismo; pero entonces nos llevamos la sorpresa de descubrir que sus métodos eran radicalmente distintos.

Con respecto al trabajo del granito en cantera, ya hemos visto que hacían agujeros profundos en el granito que luego rellenaban con tacos de madera seca aprovechando la presión oncótica producida por el agua humectante para romper el granito; en el caso de piedras de mayor consistencia, como la cuarcita, los agujeros eran reemplazados por ranuras rectangulares perfectamente talladas que únicamente con herramientas de acero podía ser hechas.

Un elemento que aparece frecuentemente asociado al trabajo en cantara del granito son las bolas de "dolerita" (<sup>23</sup>) –una piedra dura y tenaz de la costa del Mar Rojo– con la cual golpeaban la piedra. Se encuentran claras señales en las rocas de haber sido golpeadas con dichas bolas; por ello se ha pretendido que dichas bolas reemplazaban al moderno cincel de acero en todas sus aplicaciones. Lo más probable es que usaran las bolas de dolorita en la extensión en que el martillo o el pico del minero puede ser aplicado en este género de explotaciones. Es posible, también, que las bolas de dolorita fueran empleadas como martillos para golpear los cinceles. Según cálculos basados en experiencias efectuadas en Egipto por Engelbach (<sup>118</sup>), un obelisco de 300.000 kg. podía ser extraído de la cantera en ocho años de trabajo con el solo empleo de bolas de dolorita. Este cálculo coincide con referencias halladas en textos. Cabe observar, que el empleo de las mazas de dolorita aparece representado en algunos relieves.

Otro aspecto digno de ser estudiado del trabajo en granito de los egipcios es la forma como adosaban los bloques unos a otros sin dejar ninguna separación entre ellos. Observaciones sobre este fenómeno se encuentran en las obras clásicas, los escritos árabes y los modernos relatos de los turistas.

En la Gran Pirámide es de observar que la hoja de un cuchillo no penetra entre dos bloques de granito –especialmente en la Galería Ascendente que debe ser considerada como la más elaborada muestra del trabajo en granito de todos los tiempos. Allí la superficie totalmente irregular de dos bloques se mantiene tan absolutamente paralela que la separación no llega en ningún caso a la décima de milímetro. Cuando se observa que con el mármol

procedían de distinta manera haciendo su tallado perfectamente liso de modo que la conexión entre dos bloques de caliza del revestimiento, por ejemplo, se realiza por la yuxtaposición de planos perfectos, es dable pensar que un principio de economía –cuestión fundamental en la construcción de una pirámide– debe haber determinado estas diferentes formas de trabajar uno y otro material. La caliza se presta para el aserrado fácil según superficies planas, en cambio el aserrado del granito es harto dificultoso, por lo cual habrán preferido otro método de obtención de los bloques –posiblemente por clivaje. Si tuviéramos que hacer este tipo de juntas hoy en día indudablemente preferiríamos hacerlo con junta lisa por corte con serrucho mecánico. Los egipcios prefirieron para su trabajo del granito otro método que implica una técnica de clivaje del granito que nosotros desconocemos. Ello es en cierto modo natural pues como observa Lange (96) nosotros dominamos la tecnología del metal en la extensión en que ellos, artesanos que salían de la edad de piedra, manejaban ese material. Es indudable, también, que no podrían obtener por simple clivaje la totalidad de las superficies de contacto entre los bloques, por lo cual un remanente del trabajo sería un pulido cuidadoso hasta el logro de la superficie de contacto estrictamente coincidente entre dos bloques. Posiblemente se seleccionaran, en este caso, las superficies ideales y luego por aplicación de yeso o polvos coloreados continuarían hasta la obtención del contacto –más o menos al estilo de nuestra moderna matrizería. Petrie (92) ha efectuado algunos estudios sobre el problema del terminado de las superficies de piedra señalando el empleo tanto de los polvos de contacto como de un instrumento de nivelación constituido por dos reglas de madera y una cuerda tensa entre ambas que permitía la nivelación comparativa de la superficie. Demás está decir que este dispositivo difícilmente podría ser aplicado a la preparación de estas superficies arrugadas de granito acerca de lo cual, por el momento, nuestro conocimiento es total.

De cualquier manera que fuese, ésta es en su conjunto una tarea con la que no está en modo alguno familiarizado el cantero moderno y que por tanto no estamos en condiciones de analizar exhaustivamente. Su estudio tecnológico está aún virgen y sólo quiero agregar que por este procedimiento se aseguraba una mayor estabilidad del edificio así construido que con el simple adosamiento de bloques de superficie lisa; y a ello se debió en buena parte el fracaso de las numerosas tentativas de destrucción de las pirámides desde Otomán hasta el siglo pasado.

## Las Máquinas-Herramientas

Las únicas herramientas que poseemos de los artesanos egipcios son los cinceles de cobre de los cuales se conocen varias colecciones. Especialmente interesante es la colección del Museo de El Cairo, correspondiente a la I Dinastía, donde se pueden apreciar diversos modelos de herramientas con mango, similares a las que hoy empleamos, como cinceles, cortafriós, escoplos, formones, etc.

Respecto de las máquinas-herramientas conocemos la perforadora

movida con una cuerda arrollada sobre una varilla que fue usada por todos los pueblos primitivos tanto para encender fuego como para realizar taladrados minúsculos. Los egipcios hicieron amplio uso de ella y conocemos diversos modelos de la misma. Sabemos, además, que su designación jeroglífica era "hm" –una voz onomatopéyica. Se conocen estas máquinas y los trabajos efectuados con ellas aún antes de la I Dinastía.

Una perforadora pesada que trabajaba con polvo de esmeril aparece en relieves de Sakkara correspondientes a la V Dinastía. Con ella se fabricaban vasos de piedra de los que se conocen ejemplares protodinásticos. Por los relieves de Sakkara, y los jeroglíficos representativos, vemos que la perforadora consistía en una estaca de madera que llevaba dos pesadas piedras en la parte superior y un pequeño trozo de piedra enganchado en la parte inferior, que se iba cambiando a medida que se ensanchaba la perforación. La presión venía ejercida por las dos piedras atadas a la parte superior (unos 10 kg.) que también servían de volante. Un cuerno hueco, que servía de buje superior, era sostenido con una mano por el operario mientras con la otra hacía girar el dispositivo apoyado en la piedra que se quería perforar, que constituía el buje inferior.

Modelos más perfeccionados se conocen procedentes del neolítico dinamarqués (<sup>118</sup>) donde la perforadora no desgastaba la totalidad del ahuecado sino que iba dejando un tarugo en su interior. Por el estudio de estos tarugos se descubre que la perforadora trabajaba con polvo abrasivo. Taladros tubulares de este tipo –constituidos por cilindros de cobre– eran usados en la América precolombina donde, igualmente, trabajaban con polvos abrasivos (<sup>118</sup>).

Pero es indiscutible, como lo hace observar Lange (<sup>66</sup>), que con estas máquinas no pudieron tallarse los vasos de diorita del Antiguo Imperio pues las estrías interiores dejadas en ellos por la herramienta corresponden a las trazas de un torno. En efecto, el taladro cuando es empleado para el vaciado interior de un vaso deja en él huellas de trazos difusos e irregulares y en cambio los vasos de diorita del Antiguo Imperio muestran líneas circulares absolutamente paralelas y espaciadas con la regularidad de un torno moderno. En general, las perforadoras prehistóricas y las egipcias trabajaban con polvo de esmeril pero en los citados vasos de diorita las huellas son las de una punta cuya naturaleza se desconoce pero que no pudo ser otra cosa que diamante. Y aquí nos encontramos con otro problema arqueológico pues el diamante se lo considera inexistente en aquella época. Petrie (<sup>M</sup>) da una lista de piedras de alta dureza usadas por los egipcios y que incluye el berilo, topacio, crisoberilo y corundo. Con ninguna de estas piedras es posible hacer la punta de la herramienta del torno que cortaba la diorita.

En conexión con este mismo problema de los tornos egipcios del Antiguo Imperio es de hacer notar que el torno del alfarero todavía no había aparecido en la época en que las vasijas de diorita torneada eran ya perfectas, lo que añade otra contradicción más a las numerosas que vamos viendo y que seguiremos descubriendo a medida que avancemos en el análisis de aquella tecnología. El problema se completa, como señala Lange (<sup>56</sup>), por la circunstancia de que en las dinastías posteriores ya no volvió a trabajarse la

diorita. Quizás pudiéramos encontrar una explicación si conociéramos de qué herramienta se valían para trabajar la diorita pues no es posible pensar en una punta dé diamante para el cincel. Lo cierto es que, observa Lange, ni siquiera los escultores de la Época Tardía Saíta se atrevieron con este material en el que está esculpida la estatua de Kefrén, considerada como el máximo exponente de la estatuaria egipcia. ¿Qué fue lo que redujo la capacidad posterior de los artesanos?

No debe, sin embargo, extrañarnos que los egipcios de las primeras dinastías poseyeran instrumentos superiores a los de las subsiguientes pues esto es lo que revela constantemente el análisis tecnológico. En contraste con la concepción general de la arqueología, la egiptología tecnológica muestra más signos de retroceso que progresos con el tiempo. La opinión de Clarke (23), una autoridad en tecnología egipcia, coincide con este punto de vista y dice: "Tan sorprendente como pueda parecer, no se produjeron avances en sus métodos mecánicos a partir de la IV Dinastía en adelante; y es difícil establecer cuál fue el factor que determinó sus progresos iniciales".

En coincidencia con este punto de vista, Petrie (94) subraya que únicamente en los comienzos de la I Dinastía se conocen trabajos de perforación con taladro del pórfido blanco y negro, lo que aparte de probar que ya entonces estaba desarrollado el taladrado con puntas finas de alta dureza muestra otro ejemplo de trabajos difíciles no vueltos a realizar con posterioridad. Las propiedades de esta piedra exigían dispositivos tecnológicos que evidentemente desaparecieron en las dinastías posteriores.

Así, pues, debemos admitir que los egipcios de las primeras dinastías conocían el torno de punta fija antes de que aparecieran los tornos de alfarero. Nuevamente nos encontramos con una situación curiosa y contradictoria pero siempre dentro del estilo que ya conocemos en que un extremo progreso tecnológico aparece en una época en que no podía esperarse tal cosa toda vez que en el comienzo de la I Dinastía asistimos a los primeros balbuceos de la cultura egipcia. Forzando la paradoja, observa Petrie (85), con el torno egipcio se obtenían, inclusive, superficies esféricas pues se conocen platos hechos a torno en los cuales la herramienta se movía sobre una línea curva. Vale decir, tenemos la prueba de que además del torno a punta fija conocían el torno con herramienta articulada móvil. Ésta es una importante cuestión tecnológica pues muy difficilmente podría la herramienta articulada moverse a su vez en forma circular. Que la pieza se movía con independencia de la punta, por otra parte, está probado por ejemplares exhibidos y fotografiados por Petrie (88) de piezas de diorita procedentes de Gizeh en donde puede apreciarse, por las huellas, que la pieza ha sido desmontada para cambiar su centro de giro –una operación familiar para el tornero moderno.

Otro punto importante en relación al funcionamiento de los tornos egipcios es la regularidad del avance de la espira, ya observada por Lange, y que pude constatar personalmente. Mi impresión es que el avance de la herramienta era sincronizado mecánicamente como en los tornos modernos. Pero ésta es una cuestión que deberá ser dilucidada con el auxilio de una técnica microfotogramétrica.

Otra máquina-herramienta importante del Antiguo Imperio lo fue el serrucho para piedra. El serrucho egipcio no trabajaba al modo de las modernas cortadoras de cinta de acero con polvo de esmeril llevado por agua con las cuales se cortan los bloques de granito o caliza en las canteras modernas. Se poseen ejemplares de serruchos egipcios de bronce con dientes de esmeril que señalan una técnica de trabajo de la piedra en sentido divergente en el antiguo Egipto.

Confirmando el empleo de esta herramienta por los antiguos egipcios, señala Petrie (<sup>84</sup>) que una muestra de serrado de caliza dura encontrada en Tyrins presentaba huellas de óxido de cobre y de esmeril lo que evidencia, subraya este autor, el empleo de este tipo de serruchos para el corte de los bloques calcáreos.

Por su parte A. Rey (<sup>109</sup>) observa que en los hipogeos de Tebas (XII Dinastía) se han encontrado bloques serrados de granito que muestran huellas de óxido de cobre lo que probaría el empleo de esta herramienta para el corte del granito.

Pero aquí aparece una dificultad tecnológica pues cuando se estudian las impresiones dejadas por algunos de los serruchos egipcios que cortaban granito se descubre, por la inclinación y la velocidad de descenso de la hoja, que trabajaban bajo una tan grande presión que es inadmisible estuvieran constituidos de bronce y esmeril. Se plantea, pues, una contradicción entre lo que podría deducirse por el simple estudio de algunas huellas químicas dejadas y los concretos requerimientos de la tecnología. Es indiscutible que un serrucho de bronce y esmeril puede cortar el granito si le aplicamos una débil presión y empleamos un tiempo indefinido en el corte –lo que no debió preocupar mucho a los antiguos artesanos. Pero el problema surge cuando se consideran aquellos casos, señalados por Petrie (<sup>88</sup>), en donde la presión aplicada a estos instrumentos demuestra que no estuvieron construidos con bronce y esmeril. Así, pues, la única solución que ofrece este problema es que los egipcios debieron poseer otro instrumento, cuya estructura desconocemos, pero que con seguridad no trabajaba con dientes de esmeril. De este instrumento, fuera de los rastros señalados, no hay ninguna constancia.

Nos encontramos, pues, ante la desaparición misteriosa de otra herramienta conspicua. Ya vimos que conocíamos numerosos ejemplares de perforadoras de cuerda, sus representaciones en relieves, y hasta su nombre egipcio ("hm"); pero ningún vestigio instrumental, ni representaciones del taladro tubular de alta presión. Ahora nos encontramos con que conocemos serruchos de bronce y esmeril pero que no hay ninguna huella de los otros, que también poseyeron, y que no tenían precisamente dientes de esmeril.

En relación con el modus operandi de estos serruchos se exhibe en el Museo de El Cairo el sarcófago de Diodefre (hijo de Kheops) donde puede apreciarse el trabajo del serrucho. Aparentemente, los sarcófagos eran transportados con la tapa no cortada del fondo, posiblemente por razones de seguridad con objeto de reforzar la estructura. Y en el citado sarcófago el serrucho ha cortado ya los dos tercios de la tapa quedando un resto por cortar en donde todavía puede apreciarse la garganta carcomida por la herramienta.

Se observa así la superficie irregular que va dando forma al sarcófago antes de su ulterior pulimento y en donde todavía hoy es posible apreciar las marcas de ocre que indican las líneas de corte y las marcas auxiliares trazadas de acuerdo a la escala métrica del sistema egipcio. Aparentemente este serrucho ha sido movido y guiado a mano como puede inferirse por la forma irregular de la superficie cortada con él. Todo aficionado a la carpintería conoce muy bien el problema del guiado del serrucho que se independiza de la mano obligando, para corregir la dirección, a extirpar el trozo cortado: que es lo que puede apreciarse por la operación realizada en el sarcófago de Diodefre. El ancho de la herramienta, correspondiente al ancho del surco, es de dos centímetros. El plano de corte presenta desniveles del orden del centímetro.

Cabe contrastar la operación del serrucho de Diodefre con la operación realizada en el sarcófago de Kheops (Gran Pirámide) en donde los desniveles de las superficies serradas son del orden del milímetro. Una fotografía exhibida por Petrie (88) permite apreciar la corrección del avance de la hoja del serrucho en una fase de la operación; la observación *in situ* me permitió apreciar que esta corrección hace *pendiente* con igual corrección en la cara opuesta. Se puede observar con estos detalles el contraste entre la desaprensión del aserrado de Diodefre y el minucioso cuidado del de Kheops. Esto queda confirmado por las medidas de Petrie (88) en dicho sarcófago donde se aprecia el paralelismo de las caras contrapuestas y la perfecta angularidad rectangular de las caras laterales contra el fondo. El serruchado del sarcófago de Kheops debe considerarse como una obra maestra en la materia pues a pesar de no haber recibido un pulido ulterior es casi una pieza terminada.

Es importante para apreciar el mecanismo del serrucho de Kheops observar las correcciones de posición de la herramienta que se producen sobre extensiones del orden del decímetro, mostrando ello que la herramienta llevaba una guía mecánica. Aparentemente, este serrucho se movía al modo de los modernos "cortadores de peine" que producen bloques de superficies paralelas debido al movimiento simultáneo de varias cintas de acero. Probablemente el paralelismo del sarcófago de Kheops se lograba por la sólida articulación de dos filos cortantes sobre una misma armadura y, como lo revela la extensión de las correcciones, el movimiento era comandado mecánicamente. Sobre el modus operandi de este serrucho cabe hacer la inferencia de que si tal grado de precisión podía ser logrado sobre granito, sobre caliza debían obtenerse resultados aún más ajustados; lo cual es de importancia para apreciar otra fase de las tareas tecnológicas en la Gran Pirámide cual lo fue el tallado de los bloques de mármol que estudiaremos más adelante. Por el momento observaré que para el tallado de los prismas ópticamente perfectos del revestimiento calizo, la posesión de un serrucho capaz de dar superficies paralelas determinaba, en función cuadrática, el costo de la operación final de pulido. De ahí, pues, que el estudio de la operación del serrucho egipcio nos permitirá explicar aspectos fundamentales de la difícil tarea tecnológica que presupuso el aludido revestimiento calcáreo.

## Los Trépanos Egipcios

En relación con las serruchos egipcios hemos visto que no es posible aceptar, técnicamente hablando, que un serrucho de bronce y esmeril pueda producir las estrías dejadas por algunos serruchos egipcios. Pero el argumento no es aquí muy concreto toda vez que las huellas dejadas por un serrucho son bastante imprecisas y no permiten una discusión basada en hechos irrefutables. Por ello prefiero proseguir la discusión de este mismo problema en relación a otra máquina-herramienta egipcia, a la cual me he referido anteriormente, y que debe ser considerada la herramienta más conspicua poseída por la antigua tecnología: el taladro para piedra.

El taladro para piedra egipcio funcionaba como el moderno artefacto destinado a la perforación de las piedras y a la obtención de "probetas" para ensayos de cemento, bien conocido por los técnicos. Consiste en un tubo de metal que lleva en una extremidad de 1 a 4 puntas de un material cortante de extrema dureza que al girar va penetrando en el bloque de piedra dejando un tarugo, o cuña, en el interior del cilindro. Se retira el cilindro y con un golpe se corta el tarugo. Luego prosigue la operación.

La punta cortante, como es natural, se desafila y requiere un engoroso tratamiento de afilado de tiempo en tiempo que, en los taladros, de varias puntas, exige una nivelación hasta el orden de la centésima de milímetro.

El cilindro, en los taladros modernos, es de acero y las puntas son de diamante o de "widia" (carburo de tungsteno). La presión debe regularse cuidadosamente por control manométrico y para un taladro con tres puntas de diamante ésta es aproximadamente de unos 50 kg. Para un taladro con puntas de "widia" es menor –unos 30 kg. La herramienta de "widia" presenta, sin embargo, la ventaja de su gran velocidad de trabajo que puede llegar a una velocidad tangencial de hasta 30 metros por minuto. El diamante, en cambio, debe ser trabajado a baja velocidad pues se corre el riesgo de quemarlo. Desde ya que la máxima penetración por vuelta de la herramienta se la obtiene con puntas de diamante, y en un taladro de 15 cm de diámetro que corta granito puede apreciarse como de unos 0,04 mm por vuelta, variando este valor con el tipo de granito utilizado. En los tarugos dejados por las herramientas modernas no se puede apreciar este pequeño avance pues presentan un aspecto irregular y áspero con huellas difusas y entrecruzadas.

Como he dicho, el principio de funcionamiento de la herramienta egipcia era en un todo similar al de la herramienta moderna, pero se diferenciaba en las características del trabajo efectuado. Los tarugos que producía la herramienta egipcia, eran lisos, perfectamente recortados, y las huellas de la herramienta se aprecian nítidamente. Para el mismo diámetro de taladrado en que la herramienta moderna descende 0,04 mm, la herramienta egipcia descendía cincuenta veces más: 2,5 mm por vuelta. Como observa Petrie (<sup>88</sup>) los tarugos producidos por la herramienta moderna son deleznables comparados con los que producía la herramienta egipcia. En forma general, puede decirse que los tarugos de las herramientas modernas son intermediarios entre los tarugos egipcios y los tarugos de los taladros tubulares prehistóricos (neolítico dinamarqués y América precolombina) que

trabajaban con polvo de esmeril.

Petrie (<sup>94</sup>) realizó un largo y detenido estudio de este instrumento en estrecha colaboración con numerosos técnicos entre los que se destaca Sir Benjamín Baker. Se estudiaron cuidadosamente las posibilidades y alternativas de funcionamiento de los antiguos taladros y la conclusión fue que "únicamente trabajando bajo una presión de 2000 kgs es posible explicar el funcionamiento de los taladros egipcios". Cuando comparamos estos 2000 kgs con los 50 kgs de la herramienta moderna tenemos motivos para considerar como muy importante el estudio de esta cuestión, no solamente desde el punto de vista, arqueológico sino también científico y tecnológico. Como observara sir Benjamín Baker (<sup>94</sup>) si algún ingeniero moderno fuera capaz de lograr algo parecido a lo hecho por los antiguos técnicos podría estar muy orgulloso de ello. En opinión de técnicos consultados por mí a este respecto, si algún inventor lograra un taladro con la capacidad del egipcio ello no sólo revolucionaría el arte de perforar la piedra sino que afectaría a todos los métodos modernos de producción industrial.

Petrie analizó y descartó minuciosamente una por una las alternativas propuestas para explicar el funcionamiento de estos taladros. Por ejemplo, la idea de que pudieran operar por golpes y escoriaciones es rechazada pues no hay ninguna huella de semejante proceder en los tarugos y perforaciones que poseemos. La posibilidad del empleo de dos herramientas aplicadas alternativamente una de las cuales se limitaría a ensanchar el surco dejado por la otra es descartada pues se conocen algunos taladrados con el tarugo todavía dentro y en donde el paralelismo entre las huellas internas y externas es perfectamente homogéneo. Otro procedimiento sugerido basado en la remoción alternativa de la herramienta no es viable en la práctica pues el polvo producido hace que la herramienta se deslice o se atranque. No queda, concluye Petrie (<sup>88</sup>), otra alternativa que aceptar que estos instrumentos trabajaban bajo una presión de 2000 kgs y éste fue el parecer unánime de todos los mecánicos consultados.

Estas investigaciones no fueron proseguidas por los subsiguientes cultores de la arqueología, pero es de observar que 80 años después de los trabajos de Petrie, todos los taladradores de piedra en todo el mundo (perforadores de pozos petrolíferos, mineros, artesanos de la piedra, técnicos en cemento, etc.) siguen utilizando los métodos de aquella época sin que se haya producido ninguna innovación ni progreso en las 8 décadas transcurridas. Creo que ello es prueba suficiente de que no hay ninguna posibilidad de otro procedimiento que el indicado por Petrie, es decir, una enorme presión que los modernos taladros de acero y diamante son incapaces de aguantar sin romperse.

Se planteaba, pues, el problema de qué estaba constituido el taladro egipcio y como algunos arqueólogos argumentaran que debía estar hecho con "bronce y esmeril" –de acuerdo a las pruebas arqueológicas– Petrie (<sup>94</sup>) pregunta: "¿Si esto es lo mejor que podemos hacer con diamante, se puede suponer que los egipcios lo hicieron mejor con esmeril?" ("If this is the best we can do with diamond, can we suppose the Egyptians beating us with only emery?").

En relación con este problema de las puntas duras, Petrie (<sup>88</sup>) da una lista de piedras que poseyeron los egipcios y que incluyen el berilo, topacio, crisoberilo y corundo. Pero, observa, con ninguno de estos materiales se podrían grabar sobre diorita los jeroglíficos donde una punta efectuaba un surco homogéneo de un ancho de 0,17 mm. En opinión de Petrie (<sup>94</sup>), únicamente el diamante permitiría hacer esto, pero el uso del diamante por los antiguos egipcios no es admitido por los arqueólogos. Nueva contradicción entre la una y la otra de las técnicas arqueológicas.

Pero aunque aceptáramos que los egipcios poseyeron el acero y el diamante ¿explicaríamos con ello el misterio de sus trépanos? Para que la moderna industria fuera capaz de homologar la eficiencia de los taladros egipcios sería necesario que poseyéramos un elemento cortante cincuenta veces más duro que el diamante. Y esto ni siquiera lo sueñan los científicos y tecnólogos modernos.

En descargo de nuestros científicos y técnicos, tan aplastantemente superados por la eficiencia mecánica egipcia, hay que observar que la técnica moderna se ha orientado en direcciones diversas de la egipcia. En efecto, la evolución de las herramientas de corte ha tendido al tipo de los métodos de alta velocidad. Y así vemos a los aceros al carbono de las herramientas de los tornos de la época de Watt, reemplazados por los "aceros rápidos" de la primera guerra, para ser desplazados, a su vez, durante la segunda, por los carburos de tungsteno (widia = wie diamant) que ahora van siendo desalojados por las herramientas de cerámica (óxido de aluminio). Pero este progreso no señala tanto un aumento de dureza como un aumento de la resistencia al calor de la herramienta que ahora puede trabajar a las enormes velocidades requeridas por la industria moderna (<sup>10</sup>).

A parte de la capacidad de las modernas herramientas de corte para resistir enormes temperaturas sin modificación aparente de sus condiciones mecánicas, la tecnología moderna ha desarrollado recursos adicionales tales como el empleo de lubricantes y abrasivos en suspensión en soluciones acuosas inyectadas a enorme presión. En el caso particular de la perforación en roca granítica, los equipos de la industria petrolífera pueden llegar a penetraciones de unos 30 metros para 24 horas de trabajo. En los dispositivos más modernos esto se logra mediante una herramienta que afecta la forma de un sólido de revolución y constituida por una aleación dura con un gran número de diamantes incrustados. El dispositivo lleva numerosos conductos por los que entra y sale la suspensión acuosa inyectada a enorme presión. Debido a la acción refrigerante y lubricante del líquido es posible elevar la velocidad de rotación de estos taladros hasta 200 vueltas por minuto bajo un peso de hasta 20 toneladas. Un simple cálculo nos muestra que la penetración por vuelta del trépano es del orden de 0,1 mm.

Lo mismo puede decirse de los "sacamuestras" que emplea la industria petrolífera y cuyo funcionamiento es en un todo similar a los ya visto taladros para piedra.

Es evidente que la conclusión de Petrie de hace 70 años sigue siendo de actualidad: una mayor inclinación de las hélices de las perforaciones sólo

puede lograrse aumentando la presión de trabajo. Y ello sigue requiriendo una punta de mayor dureza que el diamante que, por supuesto, la moderna tecnología no posee.

La tecnología egipcia, evidentemente, se orientó hacia herramientas de baja velocidad y en este sentido, cualquiera sea la hipótesis explicativa que ensayemos, lograron resultados admirables, pues al grado de penetración de sus serruchos y taladros –que hemos visto– hay que agregar el enorme tamaño de algunos taladros egipcios. Petrie muestra (<sup>94</sup>) en "Tools and Weapons" (Pl. LII, fig. 68) una fotografía de un tarugo de 70 cm de diámetro (sic). Con esto la tecnología egipcia queda por encima de las posibilidades mecánicas de la Era Cósmica.

Valdrá la pena despertar el interés de los modernos tecnólogos sobre esta cuestión y recordar la necesidad de reemprender estos estudios abandonados desde la época de Petrie. En cuanto a la atingencia arqueológica propiamente dicha del problema, un punto importante es la temprana aparición de los "supertrépanos" en la cultura egipcia. Petrie muestra en la obra antedicha (Pl. LII, fig. 58), un tarugo de pórfido blanco y negro correspondiente al *comienzo* de la Primera Dinastía lo que, según las propias palabras de Petrie, muestra que "ya en aquella época estaba desarrollado el taladrado con puntas finas de alta dureza". Para complicar más el problema arqueológico, Petrie subraya que con posterioridad a esa fecha ya no volvió a taladrarse el pórfido blanco y negro –una piedra sumamente difícil de mecanizar tanto por su dureza como por su textura heterogénea.

## El Tallado del Mármol

Cuando el arqueólogo Sir Flinders Petrie llevó a Egipto su equipo completo de teodolitos de alta precisión, niveles ópticos, calibres micrométricos y goniómetros adaptados a los ángulos de 90°, 51°50' y 26°20' con la intención de medir exhaustivamente los monumentos, las cámaras y los sarcófagos causó la sorpresa de sus colegas; y en el prólogo de la obra "The Pyramids and Temples of Gizeh" se creyó en la obligación de explicar el por qué de la extrema precisión de sus medidas, aclarando que la tarea del científico debe siempre ser hecha con la máxima precisión posible. Años más tarde (1925) los arqueólogos Borchardt (<sup>14</sup>) y Colé (<sup>21</sup>), con la colaboración de la "Survey of Egypt", decidieron efectuar nuevas mediciones por considerar que las de Petrie no tuvieron suficiente precisión.

Como es sabido, Petrie fue uno de los grandes metrólogos en la historia de la arqueología y a su incomparable labor debemos mucho de lo que hoy conocemos sobre la metrología y la micrometría de los antiguos egipcios. Como lo destaca con admiración el propio Petrie (<sup>90</sup>) en el sarcófago de Sesostris II –en Illahum– la precisión de las medidas, determinada por el paralelismo de las aristas, llega al límite de nuestras realizaciones modernas: Sobre una longitud de 2,70 m los errores promedio de paralelismo de las aristas están por debajo de 0,17 mm, o sea, 0,06 mm/metro. Como Petrie estima (en "Wisdom of the Egyptians") la curvatura de los planos en menos de

0,05 mm, podemos calcular el error angular en 10''. Teniendo en cuenta que estas tolerancias corresponden a promedios generales, podemos considerar a este sarcófago como "normalizado" para = 0,03 mm/metro. En el sarcófago de Kefrén el error medio es del orden de 0,2 mm/metro lo que también representa una excelente labor micrométrica. El error en el sarcófago de Kheops es ligeramente mayor –del orden de 1 mm/metro– pero no debe olvidarse que este sarcófago está solamente aserrado, sin haber recibido el pulimento final, de modo que, tecnológicamente, representa una hazaña comparable al ajuste logrado sobre el sarcófago pulido brillante de Kefrén o el exquisitamente pulido mate, en granito rosa, del de Sesostris II.

Con todo, como realización tecnológica de alta precisión no hay en el mundo entero nada que iguale al revestimiento calcáreo de la Gran Pirámide. Los análisis efectuados por Petrie (<sup>88</sup>) en los bloques calizos que quedan en posición en la cara Norte de la pirámide muestran que estos bloques de 16 toneladas de peso, con superficies planas de hasta 3 metros cuadrados, muestran un paralelismo, a lo largo de sus aristas de 1,90 metros, del orden de 0,05 mm/metro. Los bloques se hallan yuxtapuestos con aproximación de 0,05 mm (es decir, en íntimo contacto) y la apertura media de la junta es del orden de 0,5 mm. Como observa Petrie, colocar en posición bloques de tal peso y tal superficie es ya de por sí tarea delicada; pero hacerlo con cemento en las juntas aparece como imposible. Añadamos que el cemento empleado fue yeso, de rápido fraguado, con lo que queda planteado un problema analizado por otros tecnólogos (Clarke) y encontrado imposible. No se notan en el pavimento de la pirámide huellas que indiquen arrastre de los bloques, ni tampoco en los bloques mismos puntos de engarce para cuerdas o grúas. La colocación de los bloques del revestimiento queda, pues, como otra misteriosa tarea egipcia de imposible realización para nosotros.

Los estudios de Petrie revelan todavía otro problema en cuanto a la colocación de los bloques del revestimiento que, según él, debieron ser ubicados de dentro a fuera. Pero esta solución que resolvería muchos problemas de colocación implicaría que la pirámide comenzó a construirse ubicando primeramente los bloques exteriores en su sitio, pasando a continuación a colocar los bloques internos de granito adosados a los primeros. De otra manera, argumenta Petrie (<sup>88</sup>), no es posible explicar que la cara exterior de los bloques forme una línea recta de 230 metros de longitud en la que no ha habido ninguna corrección o retocado ulterior –como lo prueban los ángulos de 90° exactos que forman los diedros de los bloques calcáreos. En otros términos, los bloques debieron recibir su ulterior tratamiento en el taller de donde, cuidadosamente tallados, pasaron a formar una línea recta sobre el pavimento, perfectamente pulido, excavado en la roca de la meseta de Gizeh. La construcción con bloques prefabricados de una línea recta de 230 metros de longitud presupone un control de la angularidad del orden del segundo de error. Como quiera que los diedros de los bloques presentan este orden de exactitud no queda más remedio que admitirlo así.

La colocación de los bloques del revestimiento de la Gran Pirámide incide, así, en la complejidad del problema constructivo de las pirámides que dista mucho de estar resuelto a pesar del empeño de arqueólogos y técnicos que

han llegado hasta la construcción de "pirámides piloto" (28) en la tentativa de dar solución a este enigma prehistórico.

Abocándonos al problema de la fabricación de los bloques, se conocen métodos modernos de preparación de "superficies planas" y "diedros rectos" que permiten obtener un patrón de comparación por correcciones sucesivas. En el método Withworth se espolvorean las superficies de contacto con azul de Prusia de modo de obtener, mediante dos copias sucesivas, una superficie facsimilar de la primera que luego se contrasta con aquélla para seguir, por sucesivas etapas de pulido, hasta la obtención de ángulos o superficies de la precisión requerida.

Es posible que los egipcios hayan aplicado este método para la obtención de los bloques del revestimiento, pero tal técnica no puede ser aplicada para la obtención de los planos y ángulos de los sarcófagos –sobre todo en el complejo y polifacético sarcófago de aristas biseladas de Illahum. Para estos casos debieron proceder por pulido directo con control instrumental permanente. La técnica moderna emplea para este tipo de trabajo métodos interferométricos.

En cuanto a la obtención de los ángulos con  $10''$  de tolerancia, ello requiere goniómetros especiales. Con el empleo del teodolito no es posible llegar a esta exactitud en la medición de diedros sólidos. Se requieren microscopios de autocolimación. Petrie, por ejemplo, llevó a Egipto dispositivos ópticos especiales para la medición de ángulos, pero el error de sus instrumentos estaba por encima del error angular de los bloques del revestimiento y debió contentarse con las medidas del paralelismo, proporcionadas por sus calibres, y la curvatura de las caras.

De cualquier manera que hayan procedido, lo que queda fuera de discusión es que lograron un resultado altamente satisfactorio aún para nuestra época. Así, por ejemplo, para las mejores "escuadras normalizadas" producidas por la industria moderna (Norma DIN 875) se admiten errores de  $\pm 0,03$  mm/metro –en notable coincidencia con los errores angulares y de paralelismo de las obras de precisión egipcias.<sup>3</sup>

Es fundamental en este estudio distinguir entre el alcance de los instrumentos y los errores que ofrece el objeto elaborado con su auxilio. Así, por ejemplo, el moderno microscopio fotoeléctrico permite medir patrones de longitud con un error menor de 0,000001 mm/metro, pero este notable invento no modificará las normas de óptica y matricería. Un error *normalizado* de  $10''$  de arco indica que el instrumento de control media con un error no

<sup>3</sup> Una estructura prismática con tolerancia de  $\pm 0,03$  mm/metro en el paralelismo de sus aristas y una curvatura –en planos de  $3 \text{ m}^2$ – de 0,05 mm corresponde a lo que modernamente denominamos "óptica de precisión". La "óptica comercial" admite tolerancias diez veces mayores.

Para el control de las superficies planas se utilizan, en óptica de precisión, las figuras de interferencia obtenidas por medio de los "Vidrios-tipo". Para grandes superficies el procedimiento es engorroso por el desgaste que sufren los vidrios-tipo, la necesidad de una ausencia total de polvo y el control de temperatura requerido, pues basta el calor de la mano para producir deformaciones perceptibles en las figuras de interferencia. Por estos motivos se prefieren para el control de amplias superficies las "láminas normales" que, con el empleo de luz de mercurio, producen figuras de interferencia sin tomar contacto con la superficie en estudio.

Es posible que los técnicos egipcios hayan controlado sus "superficies normalizadas" con el empleo de vidrios-tipo u otro procedimiento equivalente dada la simplicidad de esta técnica. En cuanto a las mediciones angulares el empleo de "ángulos-tipo" permite un método de control apto para el ajuste a escala de la óptica de precisión.

mayor de 5''. Teniendo en cuenta que los mejores instrumentos no ópticos miden con errores de más de 300'' se demuestra, como un teorema, que los egipcios debieron poseer instrumentos ópticos y, además, de alta precisión, ya que el anteojo de autocolimación corriente, p. ej., da errores del orden de 5'' (<sup>115</sup>).

El normalizado viene determinado principalmente por consideraciones económicas de fabricación. Así, por ejemplo, teniendo en cuenta el precio actual aproximado de 500 dólares por metro cuadrado de "mármol de ajuste" con normalizado-tipo de la Gran Pirámide, podemos calcular el costo total de los 25.000 bloques del revestimiento calcáreo en unos 500 millones de dólares. Si la norma de tolerancia se hubiera fijado en 3'' el costo hubiera ascendido a mil millones.

La cuestión económica es aquí fundamental. Pretender, como se hace usualmente, que tales consideraciones debían ser ajena a las preocupaciones egipcias por la baratura de la mano de obra, sería ignorar que un trabajo de esta naturaleza requiere mano de obra especializada que en ninguna época ha podido ser motivo de improvisación. Se hace evidente, entonces, que los egipcios de la IV Dinastía debieron poseer enormes institutos tecnológicos donde adiestrar a los miles de especialistas requeridos por semejante tarea. Y aunque la arqueología actual desconozca en absoluto todo esto, el argumento tecnológico es aquí decisivo. Esto nos explicaría ese otro misterio egipcio de la evolución tecnológica desde la primera a la cuarta dinastía, aún cuando el instrumental necesario era ya poseído por los artesanos de la I Dinastía. La creación de las organizaciones y la preparación de la mano de obra especializada pudo requerir los tres siglos señalados por esta evolución.

No creo que en el mundo actual pudiéramos reunir el número de operarios especializados en este tipo de tareas capaces de enfrentar con éxito el pulimento del revestimiento exterior de la Gran Pirámide. Observando que en óptica y matricería las figuras más difíciles no son los sólidos de revolución – paraboloides y esferas– sino los paralelepípedos y prismas, la fabricación de uno de los bloques del revestimiento (de 20 m<sup>2</sup> de superficie) es una tarea equivalente al pulido del espejo del telescopio de Monte Palomar (U.S.A.). La T.V. y el cine han difundido ampliamente los detalles de esta ciclópea tarea que llevó más de un lustro de esfuerzos continuados. Para comprender la magnitud de la obra egipcia bastará observar que aquellos fabricaron 25.000 de estos bloques. Habían logrado en el 2.500 a.C. la producción en masa de instrumentos ópticos que la industria moderna sólo produce en escala artesanal.

Debemos lamentar la destrucción de este revestimiento de mármol que otrora poseyó la Gran Pirámide pues ello no solo nos priva del placer estético de su contemplación sino también de la posesión de una obra que podemos, con seguridad, considerar la más grande creación de la tecnología humana. Hay que lamentar asimismo la destrucción de estos planos perfectos de casi 10 hectáreas de superficie pues es seguro que su sola presencia hubiera llevado al ánimo de legos y arqueólogos la convicción de la excelencia técnica de sus constructores, que ahora debemos inferir a partir de los pocos bloques que aún restan en posición en la cara Norte de la pirámide.

Queda por determinar el objetivo perseguido con este enorme esfuerzo de tecnología de precisión que triplicó el costo total de la pirámide. ¿Pudo ser una finalidad religiosa, deportiva, científica? ¿Lo hicieron sin ninguna finalidad? Podemos plantear muchas preguntas como éstas que no encontrarán fácil respuesta. Lo concreto es que lo hicieron y que con ello crearon una estructura que a pesar de haber sido casi destruida, aún hoy nos permite medir –con la aproximación de la mejor topografía– una altura que es posible sea el más exacto valor para la distancia al Sol determinado hasta ahora (Cfr. "La Altura de la Pirámide").

La fabricación de los bloques del revestimiento de la Gran Pirámide nos enfrenta con una tarea *sui géneris* cuyo único paralelo vuelve a encontrarse en la época moderna en lo que llamamos la "producción en masa" de instrumentos ópticos. La realización de tal tarea, como sabemos, presupone ciertas premisas de trabajo tales como la posesión de dispositivos standardizados y también un profundo sentido de la organización industrial. No conocemos nada sobre las técnicas empleados pero los resultados logrados nos obligan a reconocerles una eficiencia sólo comparable a la de la época moderna. Ninguna otra época histórica realizó tareas de esta naturaleza por lo cual debemos considerar con seriedad lo que ello implica en el dominio de la mecánica, la óptica y la geometría como asimismo en lo atingente al objetivo perseguido con el logro de esta peregrina precisión.

Realizar hoy una obra similar a la del revestimiento calcáreo de la Gran Pirámide exigiría un esfuerzo técnico que pondría a prueba las capacidades de nuestra era científica. Los técnicos que fueron capaces de realizar tal tarea en los albores de la historia tienen que merecer nuestra más sincera admiración.

## La Orientación

Merced a los trabajos del egiptólogo checo profesor Zaba (<sup>134</sup>) se ha reiniciado el estudio de la exacta orientación geodésica de los monumentos egipcios que para muchos arqueólogos era producto de la casualidad. Se había llegado a esta conclusión debido a que no conociéndose instrumentos, textos ni representaciones de métodos con los cuales los egipcios pudieron lograr las exactas orientaciones que presentan algunos de sus monumentos se suponía que no los poseyeron y por tanto la conclusión anotada era la única alternativa.

No puede haber crítica a la metodología, estrictamente científica, de estos arqueólogos toda vez que el mero azar no podría producir la total ausencia de vestigios que caracterizan a la ciencia y la tecnología egipcias. El error en este caso, y en los que hemos visto y seguiremos viendo, radicó en un factor anómalo de naturaleza desconocida que determinó esta curiosa extinción de los instrumentos científicos y técnicos poseídos por aquella extraña civilización.

Esto que vengo subrayando no es una observación meramente personal. Los arqueólogos familiarizados con estos aspectos de la cultura egipcia lo conocen perfectamente y Edwards (<sup>30</sup>), por ejemplo, observa que las

representaciones que aparecen en el templo solar de Niuserre (V Dinastía) –y que coinciden con los textos del templo de Edfu– en las cuales aparece el rey y sacerdotisas con una maza, estacas y la cuerda de arpentar determinando la orientación de un templo no puede ser tomada al pie de la letra pues tales representaciones son puramente formales y corresponden a ceremonias oficiales. Guiarse, entonces, por estas representaciones para establecer los métodos empleados para determinar la orientación de los edificios del Antiguo Egipto sería como estudiar nuestros sistemas de ingeniería por las ceremonias de colocación de una piedra fundamental. Edwards extiende éste su escepticismo a los textos del templo de Denderah (época Ptolemaica) que describen al rey como "mirando el cielo, observando las estrellas y tornando su mirada hacia la Osa Mayor". Podríamos hacerlo extensivo a los relieves de Esna o de Kom Ombo en donde, como en Denderah, el faraón lleva el nombre del emperador romano de turno. Por lo demás este escepticismo está plenamente justificado por un prolongado contacto con manuscritos de donde en ningún momento se desprende el menor atisbo de conocimiento científico.

La conclusión del Análisis Arqueológico está, pues, basada en hechos y por ello Kees (<sup>51</sup>) y otros arqueólogos consideran que la exacta orientación geodésica de las pirámides tiene que ser producto del azar.

TABLA I  
*Desviación Azimutal*

Zoser	$3^{\circ}$	0'	0"	E
Meidum	$0^{\circ}$	24'	25"	O
Romboidal	$0^{\circ}$	9'	12"	O
Kheops	$0^{\circ}$	5'	31"	O
Kefren	$0^{\circ}$	5'	31"	o
Micerino	$0^{\circ}$	14'	3"	E
Sahure	$0^{\circ}$	1'	45"	O
Neferikare	$0^{\circ}$	30'	0"	E
Niuserre	$0^{\circ}$	0'	0"	

Como siempre, el Análisis Tecnológico lleva a la conclusión opuesta. Observando la "Tabla I" de los errores de alineación meridiana de las pirámides se puede apreciar que, con la excepción de la pirámide de Zoser, el error medio cuadrático de la orientación de 8 pirámides no excede los 8' de arco y esto, como lo puede puntualizar cualquier agrimensor, no puede ser producto del azar. En la orientación de las bases meridianas en agrimensura moderna la operación, conducida con teodolitos, cronómetros y Tablas Astronómicas arroja errores de este orden que son aceptados por los catastros internacionales. En efecto, los catastros oficiales admiten para el cierre de polígonos en agrimensura un error de 0,3% que corresponde a un error de 10' aproximadamente, traducido en error angular.

Aceptado que la ausencia de información sobre métodos científicos no implica que orientaran las pirámides a ojo desnudo se impone un estudio detenido del problema y la deducción de los métodos que pudieron emplear

por el análisis de las construcciones que nos han legado.

Por las mencionadas representaciones –muchas de época muy posterior– y los textos que acompañan a algunos restos instrumentales que poseemos – todos posteriores a la XVIII Dinastía– el egipólogo profesor Zaba (<sup>134</sup>) ha tratado de reconstruir los métodos con los cuales los egipcios del Imperio Antiguo orientaron sus monumentos, y en un detenido análisis de la bibliografía (que comprende una crítica exhaustiva de todos los trabajos sobre el tema publicados entre 1799 y 1952 y en los que figuran autores como Herschel, Borchardt, Kees, Zimmer, Antoniadi, Edwards, Lexa, Polak, etc.) y de diversas herramientas y textos egipcios llega a la conclusión de que debieron determinar el meridiano utilizando las estrellas circumpolares y pudieron hacerlo por los siguientes métodos: 1º) La estrella polar de la época: La estrella α Draconis estaba por aquella época –IV Dinastía– demasiado alejada del polo. 2º) Culminación de una estrella: Método propuesto por Herschel pero que da grandes errores por la marcha horizontal de la estrella en el punto de observación. 3º) Pasaje de dos estrellas fijas por un plano vertical: Los textos egipcios siempre se refieren a las estrellas de la Osa Mayor en vinculación con estas determinaciones. 4º) Bisección del ángulo formado por una estrella en 12 horas: Método factible pero que exige una medición del tiempo con el auxilio de otra estrella, lo que incrementa los errores. 5º) Bisección del ángulo de puesta y salida: Método preconizado por Borchardt utilizando el horizonte y por Edwards utilizando un horizonte artificial. En el primer caso se observa que ni aún en el desierto el horizonte está perfectamente nivelado; el método de Edwards (<sup>30</sup>) además de complejo no encuentra ningún antecedente en la cultura egipcia. 6º) Bisección del ángulo formado por la altura igual de una misma estrella. 7º) Separación máxima de una estrella fija. Este último método, eligiendo estrellas suficientemente separadas del polo es sencillo y produce resultados exactos. Los textos, por otra parte, se muestran en coincidencia con ello.

Respecto de los métodos observacionales, Zaba les asocia el "merjet" del "observador de las horas" que es simplemente una varilla de palma con un corte en V en la parte superior. Este instrumento serviría al modo del retículo de un moderno teodolito y en combinación con el "tj" (plomada) permitiría determinar la posición de elongación máxima de las estrellas. Un remedio de operaciones efectuadas con estos instrumentos se descubren en las representaciones estudiadas por Zaba.

La pregunta obvia es si con el método preconizado por Zaba sería posible determinar la dirección del meridiano con un error del orden de 5' que es el máximo error aceptable para las construcciones de la época de Kheops y Kefrén. El procedimiento propuesto (7º: separación máxima de una estrella fija) parece haber sido objeto de un puro estudio teórico por parte de Zaba y colaboradores. En experimentos conducidos por el autor en Córdoba (Lat. 31° S. Long. 65° O.) con la colaboración de un grupo de agrimensores se pudo observar que con este método en ningún caso los errores hubieran sido inferiores a los 60', vale decir, un error 10 veces superior al error egipcio. Son numerosos los errores que se superponen cuando se utiliza el método propuesto por Zaba y uno de los más importantes es el error de replanteo del

centro de estación. En nuestras experiencias controlamos los errores del método propuesto por Zaba con el auxilio de dos modernos teodolitos. En mi opinión, es imposible sin un objetivo y un ocular solidarios intentar ningún género de determinaciones de este tipo. Si se estudia la sucesión de operaciones del método propuesto por Zaba se descubre que el conjunto se conduce como si las piezas de un astrolabio se mantuvieran separadas. Uniéndolas por un vínculo común –es decir, construyendo el astrolabio– es posible lograr determinaciones mucho más exactas.

Podemos sentimos generosos con los astrónomos egipcios admitir que poseyeron astrolabios. Es evidente que con tales instrumentos pudieron lograr una precisión muchas veces mayor que la que podría obtenerse con el primitivo instrumental propuesto por Zaba. ¿Hasta dónde habría llegado la exactitud lograda de este modo? Más adelante (en "Goniometría") vamos a hacer un estudio detenido de este problema pero, por lo pronto, puedo adelantar que de haber poseído los egipcios el astrolabio de Hiparco la orientación del meridiano hubiera sido efectuada con errores por encima de los 30'. El máximo exponente de precisión lograda sin dispositivos ópticos corresponde al enorme astrolabio de cuadrante mural de Ticho Brahe. El error de medida de aquel instrumento era, sin embargo, de 10'. Vale decir, que tomando en cuenta los errores de replanteo sería imposible, aún con dicho instrumento, determinar el meridiano con un error menor de 10'. ¿Qué queda, pues, para el procedimiento de Zaba?

Quizás el mejor criterio para juzgar este problema sean los resultados prácticos logrados en la orientación de las bases meridianas de los Observatorios en diferentes épocas. Así, confirmando el anterior análisis, el observatorio de Ticho Brahe en Uranienburg (1580) tenía su base meridiana orientada con un error de 18'. El observatorio de París (77) estaba orientado con un error de ese mismo orden, a pesar de haber sido construido en 1660, época en que ya se poseían anteojos de observación. El observatorio de Córdoba (Arg.) tenía su primitiva base –construida en 1890– orientada con igual error. Y así sucesivamente.

Para juzgar de la eficacia límite del procedimiento de Zaba el mejor ejemplo es la determinación de Ticho cuyo error de 18' es la máxima precisión que puede lograrse trabajando sin elementos ópticos. Cualquier otro procedimiento obtendrá resultados de un orden de precisión inferiores, y en particular el primitivo método propuesto por Zaba en ningún caso nos dará errores inferiores a los 60' en la orientación de una base meridiana. En consecuencia, no puede tal procedimiento, desde el punto de vista tecnológico, haber sido empleado por los constructores de la Gran Pirámide y la pirámide de Kefrén, cuyos errores –estimados globalmente– fueron sin ningún género de dudas inferiores a los 5'.

Más adelante vamos a ver que el error de orientación de las pirámides de Gizeh –debido al movimiento secular del polo– debe ser estimado en un valor del orden del segundo. Todo esto equivale a decir que la solución de Kees (51) vuelve a plantearse en términos aún más dramáticos pues siendo imposible que por medios no-ópticos pueda lograrse la orientación que presentan las pirámides, la alternativa es evidente: Utilización de teodolitos o simple

casualidad.

## La Mensuración

En todos los textos de historia de la Matemática se repite monótonamente, como una verdad concretamente establecida, que los egipcios no fueron más allá del puro empirismo en sus concepciones matemáticas pues su geometría estuvo en todos los casos destinada a la sola mensuración del suelo, es decir, aplicada a una finalidad práctica.

En realidad, si juzgamos los conocimientos matemáticos de los egipcios por los pocos textos que han llegado hasta nosotros su matemática fue bastante primitiva. Así por ejemplo, Neugebauer<sup>(81)</sup> puntualiza que lo máximo obtenido por la matemática egipcia de todos los tiempos fue el conocimiento de la tabla de multiplicar por dos. Los babilonios poseyeron tablas completas de multiplicar –similares a la conocida "tabla pitagórica" de la enseñanza infantil– pero los egipcios no llegaron ni a esto, pues sus métodos de multiplicación consistieron en un ingenioso sistema que permitía multiplicar por cualquier número con el solo conocimiento de la duplicación. En mi opinión lo que revela el papiro Rhind en este sentido es nada más que la prueba de la observación de Platón<sup>(100)</sup> de que los egipcios habían logrado una alta perfección didáctica enseñando a los niños la matemática como si estuvieran jugando. En este sentido me permito recomendar a los maestros modernos el método egipcio de multiplicación pues permitiría el aprendizaje de la aritmética en una forma entretenida que, al mismo tiempo, enseñaría al niño la esencia del método matemático: la economía de principios. No creo que los arqueólogos del futuro serían justos con nosotros si juzgaran nuestros conocimientos matemáticos por los textos del jardín de infantes. El que nosotros únicamente poseamos textos de enseñanza infantil egipcios no quiere decir que fuera éste el máximo nivel alcanzado por la matemática de aquel pueblo –tan admirada por los griegos.

Pero si no poseemos testimonios para juzgar el máximo nivel alcanzado por la matemática abstracta egipcia, en cambio sus obras en piedra nos permiten apreciar su capacidad de mensuración.

Ya hemos visto que en el sarcófago de Illahum lograron –sobre granito rosa– una exactitud de paralelismo de 0,06 mm/metro que coincide con las normas modernas para prismas ópticos. Vimos que este mismo orden de exactitud se logró sobre los prismas de mármol del revestimiento calcáreo de la Gran Pirámide y también en el sarcófago de Kefrén. Todo esto nos da una idea del trabajo de mensuración egipcio.

Otras de las estructuras de notable exactitud logradas por los artífices egipcios es la Cámara del Rey en la Gran Pirámide de donde, como señala Petrie<sup>(88)</sup>, podemos obtener el patrón de medidas egipcio (Codo Real) con un mínimo de error. La longitud de la pared Norte es según Petrie de 10,4797 m y la del costado Sud de 10,4782. El error de medida es pues del orden de 0,08 mm/metro, vale decir, correspondiente a la misma calidad de mensuración

anteriormente analizada.

La longitud de 10 metros de la Cámara del Rey nos ha permitido confirmar el orden de precisión que, evidentemente, corresponde a un mismo tipo de instrumento universalmente aplicado. El estudio de otra estructura de gran tamaño -la propia base de la pirámide- nos permitirá confirmar lo anteriormente visto.

Como ya hemos dicho, el revestimiento calcáreo fue medido por sus constructores con precisión óptica tal que podría decirse se trata de 25.000

$$\frac{AB + CD}{2} = 230,354\text{m}$$

prismas ópticos de 16 toneladas cada "uno. No hay para qué pensar que esta inmensa tarea de ultraprecisión no deba corresponderse con la de la base donde se asientan estos "prismas ópticos opacos". Se impone, empero, un somero análisis de la topografía de la base. En la Fig. 1 puede verse en forma esquemática (fuera de escala) el detalle de la base de la Gran Pirámide. Las medidas aquí consignadas corresponden a las de Borchardt (<sup>14</sup>) y Cole (<sup>34</sup>) y puede apreciarse que la línea BC corta a la perpendicular B'C' en el punto 0 (centro de BC y B'C'). Por consiguiente, AB'C'D es un cuadrado perfecto. Para determinar el grado de exactitud con que ha sido efectuada la medición debemos comparar el valor AB' = AC' con AD. Tendremos:

que comparado con AD = 230,357 m nos da un error total de 3 mm o sea un error relativo de 0,02 mm/metro, homogéneo con los valores anteriormente señalados para el error relativo promedio.

Para quien tenga cierta familiaridad con la medición de precisión todo esto es no imaginable para una cultura de la Edad de Piedra. Las fuentes de error en este tipo de mediciones son numerosas y si el conocimiento del nivel, la lupa y el nonius son indispensables para realizarlas, aún así no basta y se requieren conocimientos adicionales de física y termología. Si descartamos que todas las medidas que vamos viendo sean producto del azar, se nos plantea un serio problema tecnológico.

No es posible pensar que medidas de esta precisión hayan sido efectuadas con cuerdas de palma. En consecuencia debieron utilizar varillas o alambres de metal; pero así, ¿cómo explicar que efectuaran la corrección de la dilatación térmica de los metales? En efecto, teniendo en cuenta que el cobre fue el metal mejor conocido por los egipcios y suponiendo que hicieron con él las varillas de medición el error producido por la dilatación térmica para una longitud de 230 metros es el siguiente:

$$\Delta\lambda = (2,30 \times 1,8 \times \Delta t)\text{mm} = (4,14 \times \Delta t)\text{mm}$$

(donde se ha tomado el coeficiente de dilatación lineal para el cobre como  $\alpha = 1,8 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ).

Diferencias diurnas de más de 20 °C entre las 10 de la mañana y las 2 de la tarde son normales en Gizeh; ello representa una diferencia de 80 mm en las longitudes medidas. Un error de medida de 3 mm implica por tanto un control de la temperatura con un error menor de 0,2 grados. Cualquier

topógrafo sabe que este control exacto de la temperatura no es posible al aire libre y que por ello se usan cintas de "Invar" (aleación de hierro con 36% de níquel de bajo coeficiente de dilatación térmica). Para lograr la precisión obtenida por los egipcios se requieren cintas de invar con un control adicional de temperatura del orden del grado centígrado. Sin hablar de los múltiples errores inherentes a este tipo de operaciones, el haber logrado la exactitud de 0,02 mm/metro en una mensuración en donde la dilatación térmica por sí sola puede llegar a 0,3 mm/ metro es un índice de capacidad tecnológica que, por otra parte, viene refrendado por la homogeneidad de los errores de medición que venimos observando.

Se puede aquí apreciar una vez más la profunda divergencia que separa a los métodos filológico y tecnológico de investigación arqueológica. Desde el punto de vista, filológico los egipcios efectuaron sus medidas con cuerdas de palmera; el método tecnológico exige la posesión de termómetros y un conocimiento exhaustivo de la física de los metales.

## Goniometría

La goniometría es uno de los puntos cruciales en la discrepancia que resulta del análisis arqueológico conducido filológicamente y el análisis arqueológico que utiliza elementos de la tecnología.

De importancia para estos estudios será el conocimiento de la capacidad de apreciación de los diferentes instrumentos usados en diversas épocas para la medición de ángulos. El instrumento primitivo que corresponde a nuestro teodolito de hoy era el astrolabio, y el antecesor del sextante lo fue la *ballestilla* o "bastón de Jacob". Con cualquiera de estos instrumentos (<sup>110</sup>) el error que se cometía era del orden de 30'.

Astrolabios de grandes dimensiones fueron usados siempre por los astrónomos. Hiparco fue quien inauguró en época histórica (<sup>44</sup>) la astronomía de precisión. Su astrolabio debió estar formado por "alidades" (guías rectilíneas) y "pínulas" (diafragmas con pequeños agujeros). A pesar de este instrumento, Hiparco pudo descubrir la "precesión del equinoccio" por contar con las observaciones de Aristilos que acumularon, a lo largo de 130 años (<sup>75</sup>), una diferencia en longitud, de la posición de las estrellas, de 1°50'.

El astrolabio de Ptolomeo (130 d.C.) medía con errores de 10', como lo afirma Kepler en su "Comentario sobre Marte", y no hay que pensar que el de Hiparco fuera mejor. Tampoco los astrolabios árabes posteriores fueron mejores y a pesar del extremo cuidado que manifiestan algunos de sus catálogos de estrellas –el más notable de los cuales fue el confeccionado por Ulug-Beg en el observatorio de Samarkanda– sus astrolabios daban errores por encima de este margen.

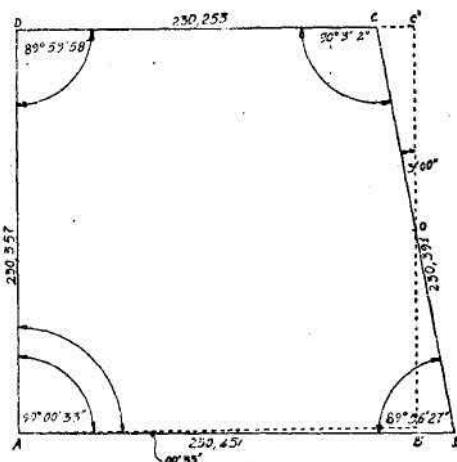


Fig. 1. Representación esquemática (fuera de escala) de la base de la Gran Pirámide.

El verdadero comienzo de la astrometría de precisión se debe a Ticho Brahe (1590). Según Kepler<sup>(52)</sup> los errores de observación de Ticho eran del orden de 2'. Esto permitió a Kepler el descubrimiento de las leyes que llevan su nombre pues en el movimiento de Marte había un error de 8' que estaba muy por encima de los errores de Ticho y que Kepler explicó por la elipticidad de la órbita de este planeta.

Ahora bien, si los promedios de observación de Ticho Brahe con su enorme astrolabio de cuadrante mural (casi 5 metros de diámetro) de Uranienburg eran de 2', el error del instrumento puede calcularse en 10'. Una idea del grado de precisión alcanzado por el astrónomo dinamarqués nos la puede dar el razonamiento psicofisiológico pues el poder resolutivo<sup>4</sup> del ojo humano es del orden de 1'. La medición de un ángulo acumula un error mínimo de 2' (dos observaciones). Ahora bien, Ticho Brahe<sup>5</sup> consideraba que el diámetro de las estrellas de primera magnitud era de 2'. Esto prueba que lo que en realidad estaba midiendo Ticho era el poder resolutivo de su propio ojo pues las estrellas –como se vio después con el telescopio– son puntuales.

En cuanto a otros instrumentos no-ópticos, todavía se emplean para agrimensura de baja precisión ciertos dispositivos como la "escuadra de pínulas" (las pínulas son aquí cerdas o hilos de Nylon) y las "escuadras de espejos". El error de estos instrumentos se puede apreciar en los 20'.

Cuando pasamos a estudiar la goniometría egipcia nos encontramos con la sorpresa de que aquellos tecnólogos medían ángulos con la precisión de un segundo de arco (1''). Despues de lo que hemos visto, esto debe considerarse como sobrenatural pues trasciende ampliamente la capacidad de ver del ojo humano. En efecto, como lo observara Petrie<sup>(88)</sup>, pueden considerarse los errores de medición angular de los egipcios por debajo de los 12'' de arco. En realidad, la exactitud egipcia es mucho mayor y puede, por diversos análisis que iremos viendo, calcularse en una precisión por debajo del segundo arco. No hay que olvidar que los 12'' de Petrie están referidos, entre otras cosas, a los ángulos diedros rectángulos con error de 10'' del revestimiento y los

<sup>4</sup> Am. Jour. Physiological Optics, 4, p. 317. 1923.

<sup>5</sup> J. L. E. Dreyer. A History of Astronomy. Cambridge 1953.

sarcófagos. Pero éste es un error "normalizado" que implica un error máximo de 2 a 3 segundos en el instrumento. El ángulo N.O. de la Gran Pirámide, por ejemplo, mide  $89^{\circ}59'58''$  lo que, tratándose de un replanteo, es indicativo de una precisión del orden de 1''. Los *buenos teodolitos modernos* miden con un error de 1''. Estos errores son inevitables dada la cantidad de factores incidentes tales como los errores de la lectura de los nonius, dilatación térmica de instrumentos y elementos de lectura, errores de nivelación, error de arrastre, viento, errores de apreciación sobre el retículo, refracción atmosférica, etc., etc. Todo esto, evidentemente, ha debido ser tenido en cuenta por los topógrafos egipcios.

Vemos, pues, que lo mismo que en el caso de la mensuración, el error de angularidad es del mismo orden en las estructuras pequeñas (sarcófagos, cámaras) que en las grandes. Ello presta una homogeneidad al sistema de medidas egipcias que excluye cualquier hipótesis basada en el azar o la casualidad.

En la Fig. 1 podemos apreciar una explicación esquemática (fuera de escala) de la topografía de la base de la Gran Pirámide, según los datos de Cole-Borchardt. En el ángulo N-0 se indica el error (por defecto) de  $-0^{\circ}0'2''$  que debe ser distribuido entre errores de medición y replanteo de ellos y nosotros. En cambio en los ángulos N-E y S-E hay diferencias con el ángulo rectángulo de  $+3'2''$  y  $-3'33''$  que no pueden ser atribuidos a error. Como hemos mostrado en "La Mensuración" la simetría con que el lado BC corta al lado ideal B'C' nos muestra un propósito deliberado al que nos vamos a referir en seguida. Debe observarse desde ya que la línea B'C' forma con el lado BC un ángulo exacto de 3'0".

Este ángulo de 3'0" que forma el lado Oeste con el lado Este corresponde a una técnica usada en varias ocasiones por los constructores de la Gran Pirámide y que nos permite escribir la longitud del lado ideal de la Gran Pirámide con indicación de un "error standard":

$$L = (230,355 \pm 0,1005) \text{ metros}$$

Observando el ángulo SO de  $90^{\circ}0'33''$ , este "error" de 33" es exagerado para la capacidad de medición goniométrica egipcia. Cabe preguntar si no podría tratarse de un "error intencionado" al estilo de los viejos babilonios. Es interesante observar que 32,4" corresponden a una subdivisión exacta en el Sistema Decimal de división de la circunferencia. La decimalidad del trabajo egipcio en la Gran Pirámide hace factible la hipótesis de la división decimal de sus instrumentos de medición angular.

Continuando el estudio de la goniometría egipcia corresponde analizar el problema que ya vimos constituía la orientación según el meridiano de las pirámides. Como quiera que estos monumentos fueron construidos hace 5000 años y el polo terrestre está sometido a movimientos anuales y seculares, únicamente por el conocimiento de la posición del polo en la época de erección de la pirámide sería posible hacer un análisis exacto del problema goniométrico. Lamentablemente, nuestra geofísica no está todavía en condiciones de abordar este problema que es objeto en este momento de

discusiones geofísicas y geológicas. Para A. G. Kamarov (53) los movimiento seculares del polo permitirían explicar las modificaciones climáticas observadas en la evolución terrestre. W. Markowitz (70) desde el punto de vista geofísico calcula este desplazamiento en 0"0032 por año a lo largo del meridiano 60°E. Ello representaría un movimiento no mayor de 16" en los 5000 años transcurridos desde la erección de la Gran Pirámide. Manifiestamente esto es inferior a los 5' indicados por las pirámides, pero hay que considerar que se trata de trabajos incipientes en un terreno por el momento desconocido de la geofísica.

Quizás el primero que haya pensado que la desviación de 5' al oeste del meridiano indicado por la Gran Pirámide podía deberse a la desviación del polo haya sido Petrie (88) quien hace un análisis geofísico del problema sobre el supuesto del desplazamiento de la masa de agua oceánica como causante de la desviación del polo terrestre. Hay que tener en cuenta que Petrie estaba altamente familiarizado con la goniometría egipcia y sabía muy bien que un error de 5 minutos no podía ser cometido por aquellos trabajadores de precisión. En opinión de Petrie (88) los errores de medición de ángulos de los egipcios no excedían de los 12", manifestando, al mismo tiempo, que no se imaginaba como pudieron hacer medidas de esta precisión.

Pero si bien no conocemos la posición exacta del polo en la lejana época de Kheops, en cambio podemos establecer una comparación entre la pirámide de Kheops y la de Kefren que fueron erigidas en época muy próxima entre sí. Los valores azimutales se encuentran expresados en la siguiente tabla donde aparece la desviación hacia el Oeste de las estructuras de ambas pirámides:

Tabla II  
*Desviación Azimutal*

<i>Kheops</i>	<i>Kefren</i>		
Núcleo (Petrie)	5'16"	Pasajes (Petrie)	5'37"
Pasajes (Petrie)	5'49"	Revestimiento (Petrie)	5'26"
Revestimiento Este (Colé)	5'30"		
Promedio	5'31"	5'31"	

Este resultado nos muestra el exacto paralelismo de dos estructuras separadas por más de un kilómetro de distancia. Se puede pensar que ambas orientaciones fueron determinadas independientemente con relación a las estrellas circumpolares, o que se orientó astronómicamente una y la otra lo fue con relación a la primera. Pero con esto el problema tecnológico no se supera pues en ambos casos el instrumento necesario para efectuar medidas de esta precisión debió tener un error por debajo del segundo. Lo concreto es que hoy día un paralelismo de dos estructuras del orden que presentan las dos grandes pirámides de Gizeh no se puede conseguir con los teodolitos comunes. No hay pues, que pretender que los egipcios fueran capaces de hacer sin teodolitos lo que nosotros apenas podemos hacer con el auxilio de estos instrumentos.

Podemos enfocar el problema anterior desde otro punto de vista, teniendo en cuenta el "peso del error". En tal caso la comparación del azimut de ambas pirámides deberá hacerse con relación a la orientación del revestimiento – estructuras que deben contener los errores más reducidos– pero con ello no

varían los resultados. La conclusión es, nuevamente, que el instrumento egipcio debió medir con errores por debajo del segundo de arco –en plena coincidencia con todos los otros aspectos de la goniometría y la mensuración de precisión que venimos analizando.

Como puede verse en la Tabla II. el cuerpo de la pirámide de Kheops, sus pasajes y su revestimiento del lado Este se encuentran en un exacto paralelismo que coincide asimismo con el del revestimiento, cuerpo y pasajes de la pirámide de Kefren. Por esta circunstancia la observación de que los otros lados (Norte, Sud y Oeste) de la base de la pirámide de Kheops están orientados 3' hacia el Este del Norte con relación a la dirección anterior revela un hecho intencionado que debe ser analizado. Más adelante vamos a ver que los egipcios empleaban un sistema de indicación de magnitudes por el promedio de una mayor y otra menor. Como vimos hace un momento, el lado Oeste de la base representa con exactitud milimétrica el promedio del lado Norte y el Sud. Esto coincidiría con lo que vamos a ver más adelante, pero la indicación del promedio se hubiera efectuado mucho mejor orientando correctamente los tres lados y dejando el lado Este en la dirección anormal. Los egipcios han procedido de otra manera mostrando ello que atribuían un valor especial a la orientación representada por los tres lados.

Con ello nos quedan indicadas dos direcciones para el meridiano. Una, la más probable, indicada por el lado Este, el cuerpo y los pasajes de la Gran Pirámide y los cuatro lados del revestimiento, el cuerpo y los pasajes de la pirámide de Kefren: o sea la dirección 5°31" al Oeste del Norte. La otra dirección, indicada por los tres lados del revestimiento de la Gran Pirámide, señalan una orientación de 2°29" con relación a nuestro meridiano. ¿Qué significan estas dos direcciones para el meridiano? Recordemos que Zaba interpretaba la duplicación del meridiano que aparece en los templos egipcios como debida a que observaciones efectuadas durante milenios les habían mostrado la existencia de un movimiento secular del polo geográfico –cosa natural en una cultura que poseía registros milenarios. Pero observando que nosotros, los modernos, también tenemos duplicado el meridiano es muy probable que la duplicación egipcia corresponda a la propia nuestra, es decir, que la segunda dirección (la indicada por los tres lados anómalos de la base de la pirámide de Kheops) correspondería a la dirección del meridiano magnético. Se plantea empero el problema del valor de dejar indicada tal dirección para una época tan remota. Teniendo en cuenta la variabilidad secular extrema del polo magnético esta indicación puede haber correspondido a varias épocas sucesivas en el transcurso de los milenios. Una objeción similar puede hacerse a la teoría de Zaba sobre la duplicación del meridiano en los templos egipcios pues la observación a lo largo de milenios no daría una exacta duplicación sino que indicaría múltiples posiciones y el meridiano por tanto debía ser indicado por múltiples líneas y no solamente por las dos que venimos viendo.

Se puede plantear la cuestión de que la brújula, en tiempos históricos, recién se conoce por los relatos de viajeros que vieron su uso (<sup>75</sup>) por marinos árabes en el Mar de Arabia hacia el 1250, o por la posibilidad de que fuera conocida siglos antes (<sup>75</sup>) por los Vikingos. Pero tal cuestión equivaldría a sostener que los babilonios no pudieron conocer las pilas eléctricas porque

éstas fueron descubiertas por Volta recién hacia 1800; y es sabido (<sup>37</sup>) (<sup>85</sup>) que los babilonios<sup>6</sup> no solamente conocieron las pilas sino que, incluso, realizaron complejas operaciones de electroquímica (<sup>85</sup>). En mi opinión, los avanzados tecnólogos egipcios difícilmente pudieron ignorar las propiedades de la aguja magnética. Esta sería la mejor explicación, y la más natural, de la duplicación del meridiano de los egipcios tanto en los templos como en la ya vista duplicación indicada por las pirámides. Otra explicación podría ser la correspondencia entre dos fechas y dos direcciones del meridiano. En tal caso, si suponemos que la dirección de 5'31" correspondió a la fecha de fundación de la pirámide –es decir hace unos 4800 años– la segunda dirección (2'29") hubiera correspondido al comienzo de la Era Cristiana. Pero este cálculo requiere un movimiento secular regular del polo, lo cual nuestra geofísica actual todavía no está en condiciones de investigar.

Continuando el estudio de la goniometría egipcia analizaremos otro interesante problema tecnológico planteado por la Gran Pirámide y al cual los distintos investigadores han tratado de resolver de diversas maneras, cada uno según su criterio previamente formado en torno a la capacidad técnica que debieron poseer los egipcios. Se trata de la perfecta euclidicidad y horizontalidad del plano de la base de la Gran Pirámide. El problema es altamente interesante porque la nivelación debió efectuarse prescindiendo de las direcciones diagonales ya que en el centro los constructores dejaron sin tocar la piedra de la meseta y solamente rebajaron el perímetro. Este mismo mogote central dificulta, como lo sabe todo agrimensor, las operaciones de cuadración del perímetro de la base que debió ser efectuada por medios puramente ópticos.

El estudio de la base revela un plano perfecto en todo el perímetro de 920 metros que presenta un desnivel homogéneo a lo largo de la diagonal S-E/N-O de tal manera que el ángulo S-E se revela 15 mm más alto que el N-O. Sobre la diagonal de 325 m esto representa un error de 0,04 mm/metro, en homogeneidad con todos los errores relativos que hemos calibrado. Mostrando ello, una vez más, la existencia de un instrumento que arrojaba errores por debajo de este orden. Al estudiar el problema presentado por esta desnivelación homogénea de un plano perfecto surge la posibilidad de que en los milenios transcurridos el suelo de la meseta de Gizeh haya sufrido una alteración en su horizontalidad. Con todo, la precisión lograda es importante como asimismo la perfección del plano. El error angular sería de 8".

---

<sup>6</sup> De importancia en relación con los temas de este libro es la cuestión del conocimiento de la electricidad por los babilonios. Pawells-Bergier (<sup>85</sup>) recuerdan que estas pilas estuvieron en el museo de Bagdad clasificadas como "objetos de culto" hasta que el ingeniero austriaco Wilhelm Konig descubrió que se trataba de pilas eléctricas. Las pilas de las excavaciones de Khujut-Rabua consisten en un recipiente de barro vidriado (<sup>37</sup>) con una tapadera de asfalto atravesada por un arco de cobre y un electrodo de hierro en el centro. En el interior de estas pilas el análisis químico reveló la presencia de acetato de cobre. Los técnicos de General Electric (Schenectady U.S.A.) fueron quienes realizaron estos estudios concluyendo que se trataba de pilas eléctricas lo cual fue probado llenando una de ellas con agua destilada, tras lo cual la pila, después de miles de años de reposo, fue puesta en actividad produciendo una fuerza electromotriz próxima a un voltio. Es lógico que ni aún en presencia de los hechos que comentó fuera aceptado que se trataba de pilas eléctricas procedentes de Babilonia. Por fortuna, de la misma procedencia babilónica fueron encontradas joyas con revestimientos de metales preciosos que el análisis matalográfico reveló como "revestimientos electrolíticos de espesor". Con esto quedó demostrado en forma irrefutable que los babilonios no sólo conocieron las pilas eléctricas sino que realizaron con ellas las complejas operaciones químicas que requiere el arte de la galvanoplastia.

La impresión de conjunto de la goniometría egipcia es que debieron poseer medios ópticos de alta precisión para obtener los resultados logrados por ellos.

## El Calendario

Las medidas astronómicas efectuadas por los pueblos antiguos han siempre sorprendido a los científicos modernos por su exactitud. Cuando se piensa que en pleno siglo XVII debió Newton postergar por veinte años su estudio de la Teoría de la Gravitación Universal por no contar con una medida del meridiano terrestre con errores inferiores al 10%, debe resultar increíble que Eratóstenes (<sup>74</sup>) en el 200 a.C. calculara la longitud del meridiano en 36.690 km, es decir, con un error menor de 1%.

Los babilonios habían calculado el movimiento diario de la Luna en  $13^{\circ}10'35''$  (Geminus) o sea con un error de 1''. Como observa Moreux (<sup>77</sup>), conocían con los valores actuales, los diámetros máximo y mínimo lunar lo que difícilmente pueda lograrse sin instrumentos ópticos.

Un grado notable de conocimiento astronómico era también exhibido por los antiguos mayas que calculaban la revolución sinódica de la Luna en 29,53059 –que es el valor actual. En referencia a la duración del año el cálculo maya era de 365,2420 días y el cálculo moderno de 365,2422. Respecto de este notable cálculo Laplace (<sup>57</sup>) opinaba que debieron obtenerlo de alguna parte pues el grado de evolución cultural de los precolombinos hacía imposible un conocimiento tan exacto de los valores astronómicos. Los egipcios, por su parte, calculaban el año con una duración de 365,2425 que ellos hacían corresponder al ciclo de Sirio (Sothis) lo cual, desde ya, implica un avanzado conocimiento astronómico. Se requieren prolongados y exactos estudios para detectar tanto el período como la particularidad ofrecida por Sirio de ajustar su salida helíaca a la duración del año trópico. Lo sorprendente es que esto era ya conocido por los egipcios en las primeras dinastías, lo que implica milenarias observaciones astronómicas más allá del tercer milenario antes de nuestra Era.

No conocemos nada sobre los métodos observacionales que pudieron llevar a caldeos y egipcios a estas ajustadas medidas. En cambio conocemos algo más con relación a los métodos empleados por los americanos precolombinos. Sabemos que muchas tribus indígenas de América hacían estadísticas cotidianas (Según Morley (<sup>78</sup>) los "Pueblo" de Arizona) de la posición de la puesta del Sol de modo que determinaban el momento del solsticio cuando el sol "venía de vuelta". Estos estudios conducidos en forma primitiva permiten, a lo largo de milenios, lograr la exactitud que presentan las mediciones mayas. Por lo demás, el procedimiento seguido era más o menos el de nuestro calendario Juliano transformado en Gregoriano por la adición y sustracción de días complementarios. En la Tabla III pueden apreciarse los valores comparativos de diversos calendarios:

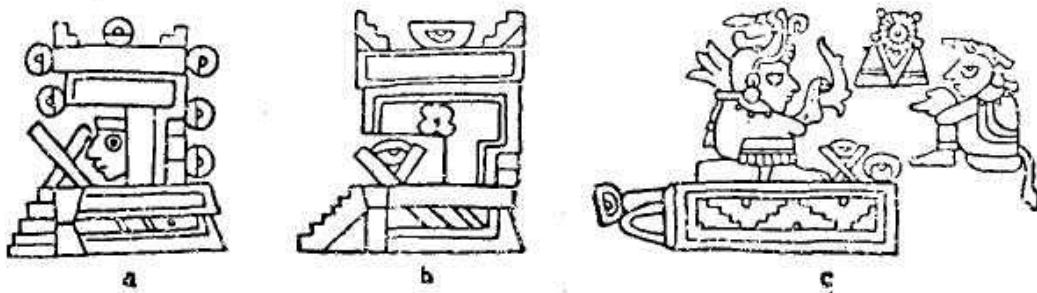
Tabla III

*Duración del Año*

Año Maya	365, 2420
Año Trópico	365, 2422
Año Gregoriano	365, 2424
Año Sothiásico	365, 2425

Respecto de los dispositivos de observación de los egipcios conocemos solamente el "Merjet" o vara del "observador de las horas" que era una vara de palma con una comisura en V en la parte superior, empleado para medir por la altura de las estrellas las horas de la noche. Desde ya que con este solo instrumento no pudieron los egipcios avanzar mucho en sus conocimientos astronómicos. Debieron por lo menos poseer otro instrumento para adicionarlo al "merjet" ya que este tipo de observaciones requiere un "objetivo" y un "ocular". Pero de los egipcios y caldeos no conocemos más al respecto.

En cambio conocemos varios códices mayas (Cfr. Morley (78)) con representaciones de observatorios y observadores, como el códice Bodleiano,



**FIG. 3. Observatorios Mayas.**

el códice Nutall y el códice Selden. En todos estos códices aparece un ojo encima de una X y en el códice Bodleiano además de este "ocular" aparece una estrella encima de una V. Consultados varios astrónomos sobre la significación de esta X con un ojo y esta V con una estrella, interpretaron inmediatamente los símbolos pues modernos dispositivos de observación suelen tener un retículo en X en el *ocular* y un retículo en V en el *objetivo*. Todos manifestaron su sorpresa al enterarse que estas representaciones correspondieran a los mayas. También se me observó que para la observación a ojo el sistema más eficaz era el de las "alidadas" y las "pínulas" de los viejos astrónomos, de modo que el sistema de observación maya no era operante en ausencia de dispositivos ópticos. ¿Por qué, pues, los mayas representaban métodos observacionales que no podían emplear? Cuando se recorre la ciencia antigua se encuentran constantemente cuestiones de esta índole. Por ejemplo, ¿por qué representaban los caldeos a Saturno (Nisroch) envuelto en un anillo? A simple vista es imposible ver el anillo de Saturno.



FIG. 2. Representación Caldea de Nisroch (Saturno) mostrando su anillo.

Pero a todos estos problemas supera en interés científico e histórico el planteado por el almanaque egipcio. Como es sabido, los egipcios usaban dos sistemas superpuestos de datación: Uno según el almanaque oficial de 365 días (12 meses de 30 días y 5 días de Año Nuevo o días *epagómenos*); el otro, determinado por la salida helíaca de Sirio (el "Sothis" egipcio) que determina el ciclo astronómico egipcio de 365,2425 días ya visto. La diferencia entre los dos calendarios se acumulaba con los años volviendo al cabo de 1460 años de nuevo a una perfecta coincidencia.

En los textos egipcios aparecen las fechas de fiestas y decretos reales indicadas por dos datos correspondientes a cada uno de estos almanaque. Se comprende entonces, que es posible fijar con toda exactitud la cronología egipcia constatando la evolución de las dos fechas así indicadas a lo largo de las diversas dinastías. Y éste ha sido el gran recurso de la egiptología cuya cronología debe ser considerada la más exacta que poseemos de todos los pueblos antiguos. Fue Ed. Meyer (<sup>73</sup>) el primero en señalar la importancia que para el estudio de la egiptología debían tener estos ciclos de 1460 años. Meyer encontró que la coincidencia de la salida helíaca de Sirio con el comienzo de la creciente del Nilo debió haber ocurrido en los años 1371-2781-4241 a.C. lo que obliga a admitir una de estas tres fechas como el comienzo del calendario egipcio. Teniendo en cuenta que en los "Textos de las Pirámides" (hacia 2700) los días de Año Nuevo ya eran mencionados en conexión con Sothis (Sirio) queda como fecha obligada del comienzo del almanaque el año 4241 a.C. Así lo entendió Meyer (<sup>73</sup>) y lo concretó en los siguientes términos: "Podemos, pues, con toda seguridad afirmar que el calendario egipcio ha sido creado para esta situación de las estaciones que aparece en el año 4241 a.C".

La tesis de Meyer es no sólo lógica y natural sino fundada en argumentos arqueológicos y tecnológicos. Sin embargo, algunos arqueólogos objetan la excesiva antigüedad del almanaque que resultaría de aceptarse la teoría de Meyer Neugebauer (<sup>80</sup>) cree que el almanaque egipcio fue obtenido por la observación de las crecientes del Nilo y no por la observación de la salida helíaca de Sirio -que exigiría un conocimiento avanzado de la astronomía muchos siglos antes de las primeras dinastías egipcias.

Como es fácil ver, el argumento de Meyer es tan típicamente un argumento tecnológico que hasta conduce a fechas de una extrema antigüedad en el origen de la evolución científica y tecnológica egipcia. En cambio, la tesis de Neugebauer se funda en el argumento filológico con todas las consecuencias que le son inherentes. Puesto que los egipcios conocían con exactitud el año sothiásico hacia el 2700 a.C. no cabe duda que lo habían

calculado de algún modo. La pregunta obvia es si es posible calcular una cifra como 365,2425 por la simple observación de un fenómeno meteorológico tal como la creciente del Nilo. Aparte de que en estos casos no existe una definición para el momento de la creciente, la meteorología no presenta un grado de regularidad tal que permita estadísticas de esta exactitud. Ello requeriría en el mejor de los casos estadísticas de muchos milenios, lo cual nos retrotrae al problema que se quiere soslayar con el argumento.

## Óptica

La tecnología, como fenómeno cultural, se nos aparece siempre con una estructura orgánica. Hay una cierta lógica en admitir que no puede hacerse un gran progreso en astronomía si el mismo no va acompañado de un progreso paralelo en la óptica. La historia muestra que en ningún caso se dio un progreso aislado en una rama particular de la ciencia si todas las otras ramas no fueron adelantadas en medida paralela. La capacidad de mensuración de los egipcios no puede ser considerada como un hecho aislado en medio de un desconocimiento general de la ciencia y la tecnología. Como hemos visto, no es posible hacer medidas de precisión si no se posee al mismo tiempo un vasto conocimiento de la óptica, la matemática, la terminología, etc. Todo ello sin tener en cuenta que una medida de precisión debe inspirarse en algún propósito específico.

No encontraremos en todo el mundo griego ni romano nada comparable a la precisión de las medidas logradas por los egipcios. Debe inferirse en consecuencia que los conocimientos científicos de los egipcios estuvieron muy por encima de los que poseyeron griegos y romanos. Por lo menos, el concepto de precisión en la medida sólo lo vemos aparecer en Hiparco (<sup>44</sup>) en medio de la desaprensión métrica de la ciencia griega. En cambio, lo hemos visto, la preocupación por la exactitud de la medida fue tan obsesiva para los tecnólogos egipcios como lo es para todo físico o astrónomo moderno. Y este solo hecho, con prescindencia de todo lo que llevamos visto, bastaría para que adjudicáramos una posición de preeminencia en la historia de la ciencia y la tecnología al mundo egipcio.

Lamentablemente, nuestra carencia de documentos científicos es tan grande que un estudio sobre aspectos particulares de aquella ciencia es imposible. En el caso de la óptica podemos, sin embargo, hacer algunas observaciones en torno a ciertas circunstancias del mundo greco-romano que con las necesarias restricciones podemos aplicar a los egipcios. Así, con relación a la necesidad del conocimiento de la lupa para la realización de medidas de precisión, tenemos el problema similar que se plantea en torno a las culturas clásicas sobre la posesión o no de la lupa por aquellas. En general los historiadores de la ciencia han negado a los griegos y romanos el conocimiento de las propiedades aumentativas de las lentes y los espejos (<sup>112</sup>). Este es un punto interesante para ser discutido con argumentos tecnológicos ya que tenemos un cierto conocimiento de la óptica del mundo griego. Así, por ejemplo, conocemos una óptica de Euclides (<sup>44</sup>) que se reduce al estudio de la

perspectiva. De las obras sobre óptica de Arquímedes conocemos algo por los estudios de Apolonio que parece haberse inspirado en ellas –sobre todo en su "Catóptrica" donde se ocupa extensamente de los espejos cáusticos con los cuales la leyenda quería que Arquímedes hubiese incendiado la flota romana. De Erón (<sup>74</sup>) conocemos una "Catóptrica" en la cual se enuncia el principio de Maupertius sobre el camino mínimo de los rayos luminosos. Además, en su "Dioptra" se expone un aparato para medición de ángulos de aplicación a la topografía.

Mucho más importantes que estos trabajos deben considerarse los de Ptolomeo (<sup>74</sup>) en donde se hace un estudio exhaustivo de las propiedades ópticas y el movimiento de los rayos luminosos de acuerdo a los focos en espejos cóncavos y convexos, como así también se hacen mediciones –con excelente resultado– de los índices de refracción agua–aire–vidrio que llevan a un antícpo de la ley de Snell. Calculó también la desviación de los rayos luminosos por la refracción atmosférica y la aplicó a la astronomía. En cuanto a su Dioptra ha llegado incompleta hasta nosotros, pero podemos reconstruirla por los trabajos posteriores del físico iraqués Alhazen (Al Haytan, 1000 d.C.) que desarrolla con absoluto paralelismo la obra de Ptolomeo que completa con experimentos efectuados con vasijas esféricas de vidrio llenas de agua. Sabemos que el físico árabe estudió en detalle el mecanismo óptico del ojo, la cámara oscura, la refracción de la luz por los prismas, el arco iris, y resolvió problemas de óptica geométrica muy avanzados correspondientes a ecuaciones de cuarto grado.

Dicho todo en otros términos, los antiguos poseyeron un conocimiento completo, exacto y exhaustivo de la óptica geométrica. ¿Se puede pensar en tales condiciones que no conocieron la propiedad de lentes y espejos de aumentar el tamaño de las imágenes? Para quien esté familiarizado con la óptica de laboratorio resultará esto tan imposible como imaginar a un físico que trabaje sobre la gravedad universal y que al cabo de veinte años todavía no se haya percatado de que los cuerpos caen para abajo... Añadamos que los trabajos de Ptolomeo se hacían en Alejandría en verdaderos institutos, similares a nuestras universidades de hoy, en donde se realizaba un trabajo en equipo y resultaría sorprendente que tanta gente trabajando permanentemente sobre óptica no fuera capaz de observar lo que ve un niño en cuanto se le entrega una lente de juguete.

Para completar el argumento tecnológico aquí esbozado valdrá la pena recordar aquel pasaje de "Las Nubes" de Aristófanes en que Strepsiades aconseja a Sócrates quemar sus pagarés a la distancia valiéndose de una lupa. Hay aquí un antícpo de la leyenda posterior de los espejos ustarios de Arquímedes que muestra que las propiedades ópticas de las lentes eran de conocimiento popular cinco siglos antes de Cristo.

¿Se podrá pensar que los ópticos científicos desconocían lo que conocía el pueblo referente a óptica? Un argumento de Arago –con relación a los miniaturistas clásicos– nos hace pensar en el mismo sentido, aunque este argumento ha sido refutado con la observación de que algunos miopes miniaturistas trabajan sin lupa. El problema histórico no consiste, pues, en establecer –como se ha hecho hasta ahora– si los ópticos antiguos conocieron

o no las propiedades ópticas triviales sino por qué no las mencionaron en sus escritos. Y este es, precisamente, el problema general que nos ha tenido ocupado a lo largo de todo el libro.

Newton menciona en su óptica (Tomo IV – II) que Antonio, arzobispo de Spalato, efectuaba hacia 1590 experimentos con vasijas de vidrio llenas de agua con las cuales reproducía el arco iris. Observa que Descartes efectuaba idénticos experimentos; por ello debemos preguntarnos por qué Al Hazen y Ptolomeo no hacen mención explícita de esta cuestión. En cambio Séneca (<sup>117</sup>) observa que la luz del Sol vista a través de un prisma se manifiesta con diversos colores. No obstante, todos los historiadores de la óptica harán remontar a Newton el conocimiento del espectro solar. En efecto, se acepta que la primera descripción del espectro corresponde al experimento Nº 7 de su óptica (tomo IV) en donde da la siguiente lista ordenada de los colores del espectro: 1) Rojo; 2) Naranja; 3) Amarillo; 4) Verde; 5) Azul; 6) Índigo; 7) Violeta.

Pero si la perfecta descripción sucesiva de los colores del espectro es condición necesaria y suficiente para atribuir a Newton su descubrimiento en 1666, en tal caso debemos pensar que el verdadero descubridor le es anterior por lo menos en quince siglos, pues en el capítulo XXI del Apocalipsis aparece en el versículo 20 una lista de piedras preciosas enumeradas en el siguiente orden: 1) Sardónice; 2) Sardio; 3) Crisólito; 4) Berilo; 5) Topacio; 6) Crisopraso; 7) Jacinto; 8) Amatista. Si consultamos una enciclopedia determinaremos que los colores de estas piedras son: 1) Rojo; 2) Rojo; 3) Naranja; 4) Amarillo; 5) Amarillo; 6) Verde; 7) Azul; 8) Violeta.

El conocimiento del orden de los colores del espectro solar se remonta por tanto a los comienzos de la Era Cristiana. Como veremos más adelante, hay serios motivos para pensar que estos pasajes que aparecen en el Apocalipsis corresponden a textos de mucha mayor antigüedad. Vale decir, que aparte los argumentos tecnológicos que exigirían un conocimiento de la óptica por los antiguos, tenemos también argumentos arqueológicos –propiamente filológicos– que abogan en favor de un conocimiento de la óptica mucho más avanzado que el que estamos acostumbrados a atribuirles.

### III LA CIENCIA DE LAS PIRÁMIDES

#### El Método Científico

Lo que diferencia al pensamiento científico del pensamiento filosófico tradicional es el carecer de principios normativos. El pensamiento tradicional debía ajustarse a ciertos principios generales siendo imprescindible, en todo los casos, que las conclusiones asumieran formas lógicas o, cuando menos, se mostraran conformes al "sentido común". En cambio –como lo muestra la evolución de la Física en los últimos cincuenta años– el pensamiento científico puede adquirir formas ajenas a la lógica e, inclusive, contrarias al sentido común. Los conceptos de la Física Relativista, por ejemplo, son tan ajenos a la lógica y al sentido común que todavía hay científicos que los discuten y se niegan a admitirlos: Las conclusiones del pensamiento científico pueden asumir cualquier forma con absoluta independencia de normas o principios generales de cualquier clase. El pensamiento científico, para decirlo con una imagen simple, posee la fluidez del agua que puede, sin ninguna resistencia, adoptar la forma de cualquier continente.

¿Cómo explicar, entonces, la coincidencia en este modo de pensar informe de tantos millones de investigadores de todo el mundo? Es que lo que caracteriza al pensamiento científico –y lo diferencia de los modos tradicionales de pensamiento– no reside en las *conclusiones* obtenidas sino en el *método* seguido para arribar a ellas. Así, pues, el juicio que pueda emitir un científico con respecto a una doctrina, una hipótesis o una teoría no tendrá nunca en cuenta la naturaleza de la misma sino el camino que lleva a tales teorías o hipótesis. Es el *método*, y sólo el *método*, lo que determina que una dada conclusión sea o no científica. Hablar, por tanto, de "principios científicos", "conclusiones científicas", etc. como suele hacerse, es desconocer la verdadera naturaleza del pensamiento científico y colocarse, en consecuencia, fuera del campo estricto de la metodología científica.

Corresponde formularse la pregunta sobre qué constituye el *método científico* y lo diferencia de los métodos tradicionales de investigación de la verdad. La respuesta a esta pregunta es dificultosa y su discusión ha ocupado a generaciones de pensadores y preocupa en la actualidad a todos los epistemólogos de la ciencia que enuncian diferentes doctrinas en cuanto a la naturaleza y significación intrínseca del *método científico*. Es preciso, sin embargo, que haya puntos de acuerdo general, por lo menos implícitos, que permitan el ajustarse fácilmente al *método científico* a millones de investigadores. La paradoja de que una extrema sencillez sea a menudo la causa de las mayores dificultades está también aquí presente, pues, en esencia, el *método científico* consistió, y sigue consistiendo, nada más que en diferenciar con el máximo de precisión entre lo que se *conoce* y lo que se *cree conocer*.

Resulta sorprendente que en una regla tan inmediata y elemental pueda hacerse consistir la esencia del método científico, pero cuando Galileo demostró, con sus experimentos de la torre de Pisa, que los cuerpos más grandes no caían a mayor velocidad que los más pequeños no hizo más que establecer la diferencia entre lo que se conocía –por sus experimentos– y lo que hasta entonces se creía conocer respecto de la caída de los cuerpos. Como es sabido en este sencillo e histórico episodio se originó el movimiento científico moderno.

La distinción entre lo que sabemos y lo que creemos saber la estableció a partir de esa fecha la supeditación de la teoría a los hechos, y se puede decir, en general, que una disciplina es más o menos científica en la medida que en ella se establezca una clara preeminencia de los hechos sobre las teorías.

Al observar la metodología de la ciencia arqueológica encontramos una real dificultad para fijar los términos de esta jerarquía pues estando ausente la posibilidad del experimento, los hechos de observación están sometidos a las circunstancias de su interpretación. Un mismo hecho puede, en arqueología, tener una fundamental gravitación o ser un detalle omisible de acuerdo a la teoría que barajemos en ese momento. La dificultad se traduce, pues, en el problema de la *evidencia* que en arqueología no tiene el valor que puede lograr en las ciencias exactas o en las experimentales.

## La Evidencia Arqueológica

Al analizar el problema epistemológico ofrecido por la investigación arqueológica descubrimos que la distinción entre lo que conocemos y lo que creemos conocer se hace sumamente difícil porque la evidencia objetiva ofrecida por el material no llega nunca a la certidumbre de las ciencias exactas o experimentales. Para Petrie (<sup>91</sup>) la "prueba" arqueológica tiene el mismo grado de certeza que la "prueba" judicial. Parece sumamente acertada la afirmación de Petrie porque, efectivamente, en la prueba judicial está siempre implícita una probabilidad de error señalada por la experiencia que muestra cuan numerosos son los casos de errores judiciales conocidos sólo a posteriori de "pruebas" jurídicas que en su momento fueron de absoluta certeza. Petrie cita el caso del establecimiento de pueblos helénicos en el delta del Nilo que aunque eran mencionados por Heródoto se consideraban como inexistentes. El mismo Petrie, había encontrado en Egipto una estatuilla de indudable origen griego, pero no fue hasta que sus excavaciones descubrieron una antigua colonia de helenos en Egipto que fue posible admitir la existencia de tales pueblos viviendo en el país del Nilo.

El ejemplo de Petrie es interesante porque pone de manifiesto las dificultades y exigencias del método científico en arqueología. En efecto, hasta que Petrie pudo probar que los griegos habían habitado en Egipto en época pre-ptolemaica se admitía que los griegos *no habían vivido en Egipto* en tales épocas lo cual, manifiestamente, era un error. Haber admitido que vivieron allí antes de la prueba de Petrie hubiera sido también un error. ¿Cuál de las dos actitudes era la científica? Aquí, como puede observarse, el concepto de

científico no implica la idea de verdad.

En otro ejemplo de la misma índole, la existencia de una ciencia caldea avanzada, en fecha anterior al desarrollo científico de Grecia, era negada por los arqueólogos del siglo XIX. Todos los autores e historiadores griegos y romanos coincidieron en cuanto al alto nivel de los conocimientos científicos de los babilonios e, inclusive, consideraban a toda la ciencia griega como originada en aquellos conocimientos.

La afirmación de los arqueólogos del siglo XIX de que los historiadores antiguos habían faltado a la verdad se fundaba en la lectura de algunas tabletas cuneiformes –las únicas hasta entonces conocidas- todas las cuales eran exponentes de una ignorancia científica tal que J. Burnet llegó a decir: "mal pudieron los caldeos ser capaces de predecir los eclipses si no llegaron a conocer sus causas".

El posterior descubrimiento –ya entrado el siglo XX- de tabletas cuneiformes procedentes de Babilonia exhibiendo avanzados conocimientos matemáticos y astronómicos confirmó en un todo las afirmaciones de los autores clásicos. Los trabajos de Thureau-Dangin (122), (124), Neugebauer (81), Bruins (17), Vogel (126) y otros han mostrado que los caldeos fueron maestros de los griegos, como lo señala hasta la coincidencia estilística de numerosas obras de matemática, astronomía, filosofía, etc. de los griegos posteriores.

El problema metodológico planteado por esta situación es el mismo que el anteriormente analizado, pues haber sostenido –antes de los recientes descubrimientos arqueológicos– que los babilonios poseyeron avanzados conocimientos científicos hubiera sido una verdad anticientífica. Sostener en cambio –como lo hicieron arqueólogos e historiadores– que los antiguos autores habían faltado a la verdad fue un error pero sobre bases científicas.

Un problema similar se plantea con la tecnología y la ciencia egipcias. La ausencia total de referencias a la ciencia y la tecnología en las excavaciones, inscripciones y textos egipcios ha sido interpretada como probatoria de que aquel pueblo no poseyó ningún género de tecnología y vivió en una ignorancia científica total. Y es una conclusión obligada si se tiene en cuenta que la primera rueda aparece en la XII Dinastía (rueda egipcia del Museo de Florencia); el primer "mrjt" (mira de observación de caña de palma (12) lo mismo que la primera plomada ("tj") aparecen en la XVIII Dinastía; los primeros textos astronómicos aparecen en sarcófagos de la XI Dinastía (81) y corresponden, inclusive, a una astronomía incipiente que como observa Hawkes (133) desconocía la existencia de los eclipses. Las primeras representaciones del meridiano aparecen en los templos de Denderah (época ptolemaica) conjuntamente con las indicaciones sobre la operación del "tendido de la cuerda" y la determinación del meridiano por las estrellas de la Osa Mayor (134). El papiro Rhind (de la XIII Dinastía) tiene un nivel científico correspondiente a un segundo curso de escuela elemental (81); el vidrio aparece en la XIV Dinastía (92) y los primeros cuchillos de hierro aparecen en Egipto recién en la Dinastía XXVI. Solamente en la época ptolemaica (200 a. C.) aparecen en Egipto conocimientos matemáticos y astronómicos de un cierto nivel, pero todos ellos de origen helénico.

En términos concretos, la documentación arqueológica nos muestra a una civilización que avanza dificultosamente por el camino de la ciencia y que al cabo de 3000 años de evolución debe importar de Grecia los pocos conocimientos que llegó a poseer. Y está documentación no admite excepciones; es el material con el cual el arqueólogo mantiene contacto permanente y a través del cual obtiene información sobre la vida y los conocimientos en el Antiguo Egipto.

En notable oposición, el material tecnológico –correspondiente a las mismas épocas de las cuales el arqueólogo obtuvo su material de información– nos presenta una imagen antitética de lo anterior. He aquí, pues, el gran contrasentido que presenta la ciencia arqueológica y que origina la contradicción entre los datos obtenidos por las interpretaciones que llamaríamos filológicas y los deducidos por el análisis de los restos de su tecnología.

Todas las representaciones que tienen algo que ver con ciencia y tecnología, y que los arqueólogos utilizan para sus estudios, se refieren siempre –y los arqueólogos lo saben muy bien (Edwards)– a ceremonias oficiales que los artistas reprodujeron tomándolas de escenas de público conocimiento. Los elementos de la ciencia y la tecnología no aparecen jamás en ninguna representación. Las figuras de Denderah representan una ceremonia oficial del "tendido de la cuerda" pero no se refieren a los métodos con los cuales los científicos determinaron el meridiano en la IV Dinastía; los textos astronómicos de la XI Dinastía reflejan una astronomía popular pero no la que pudieron emplear para determinar la recurrencia del ciclo de Sothis; los relieves del templo de Karnak en que Ramses II levanta un obelisco tirando de una cuerda no nos ilustran sobre los verdaderos métodos empleados para el izado de estos monumentos; el papiro Rhind que nos da como valor de  $n$  el número 3,16 no nos explica los métodos empleados para calcular el valor 22/7 que aparece en las pirámides. Las representaciones de Edfu y los textos que las acompañan indicando que el rey determina los ángulos valiéndose de la cuerda de tres nudos (según Cantor <sup>(21)</sup> en la relación 3, 4, 5) ilustran un método para determinar ángulos rectos con un error mayor de 1°, pero no justifican las medidas de ángulos con un error de 1" de la época de Kheops; los métodos de los arpontonautas egipcios con errores de mensuración de 1 mmmetro no nos ilustran sobre las medidas con errores cien veces menor producidas en el Antiguo Egipto; los cinceles de cobre que les conocemos no pudieron horadar la cuarcita de sus canteras; las perforadoras de cuerda con polvo de esmeril no nos dan información sobre el trépano que perforaba el pórfido blanco y negro en la I Dinastía.

Es evidente; entonces, la completa disociación entre una ciencia avanzada –como la requerida por la tecnología que le conocemos– y lo que aparece en sus pinturas y sus escritos. ¿Deberá admitirse, entonces, la existencia de enseñanzas secretas en el Antiguo Egipto? Como lo observa Lauer <sup>(65)</sup> no hay ninguna prueba de la existencia de tales enseñanzas secretas en el Antiguo Egipto. Del mismo parecer es Neugebauer <sup>(81)</sup> que hace extensiva a Babilonia la inexistencia de tales enseñanzas secretas. Existen, sin embargo, algunos argumentos favorables a la posible existencia de tales enseñanzas.

Si no se acepta la hipótesis de la enseñanza oral secreta, la matemática egipcia y babilónica es lisa y llanamente un rompecabezas. Consideremos, por ejemplo, el problema traducido por Thureau-Dangin (<sup>122</sup>) de determinar el volumen de un tronco de pirámide cuadrangular. El escriba babilonio utiliza una fórmula equivocada, pero después comete un error adicional que le permite encontrar el resultado verdadero y correspondiente a la fórmula

En ninguna tabletá babilónica aparece esta fórmula pero debieron

$$V = \frac{1}{2}h(a^2 + b^2 + ab)$$

conocerla para saber el valor exacto que debía darles el problema. Este curioso ejemplo nos recuerda a muchas situaciones escolares bien conocidas de los modernos preceptores.

Una situación similar vuelve a plantearse con los egipcios pues en el Papiro de Moscú aparece también el susodicho problema de determinar el volumen del tronco de pirámide cuadrangular, y la correcta solución del mismo demuestra el conocimiento de la fórmula anterior. Pero, desde ya, en ninguna parte aparece la fórmula. Sólo conocemos los resultados de su aplicación.

En el mismo Papiro de Moscú (<sup>92</sup>) aparece resuelto el problema de determinar la superficie de la esfera con resultados correctos. No se da la fórmula empleada pero sí el valor de  $\pi$  utilizado:

$$\pi = \left(\frac{16}{9}\right)^2$$

un excelente valor, por añadidura asociado a una solución de la cuadratura del círculo. En ninguna parte, tampoco, aparece el modo cómo este valor ha sido obtenido. Más adelante veremos una hipótesis plausible sobre su origen.

Sin necesidad de seguir con la lista, la conclusión obvia es que tanto los papiros matemáticos como las tabletas cuneiformes nos dan resultados brutos que implicarían un conocimiento superior no explicado en ellos.

La disociación del análisis arqueológico y el análisis tecnológico que llega al extremo de pintarnos dos mundos heterogéneos que marchan en sentido inverso –uno que aprende con lentitud y otro que olvida rápidamente– debe considerarse uno de los puntos críticos de la investigación arqueológica.

Ya hemos visto, en la Segunda Parte, las opiniones de los tecnólogos a este respecto. Clarke, por ejemplo, afirma que la tecnología egipcia se desarrolla con extrema rapidez en el corto período que va desde la primera a la cuarta dinastía para permanecer estacionaria durante los subsiguientes milenios de la vida egipcia, y observa que no podemos explicarnos el por qué de este estancamiento tanto como no podemos conocer las causas que motivaron el rápido progreso inicial. Obsérvese, ahora, que Clarke se refiere específicamente a las técnicas constructivas –a la albañilería y al arte de trabajar la piedra para construcción: Si se penetra el problema en otro sentido observando el grado de perfección de los instrumentos tecnológicos en las diversas épocas, vemos que los máximos exponentes corresponden a las

dinastías más antiguas, y que a medida que retrocedemos en el tiempo nos encontramos con técnicas e instrumentos más y más perfeccionados. Por ejemplo, los mejores tornos de punta con herramienta automática son los que aparecen entre la segunda y la tercera dinastía. Después de la V Dinastía ya no aparecen trabajos de aliento en diorita; como observa Lange (<sup>56</sup>), ni siquiera los escultores de la Época Tardía Saíta se atrevieron con este material.

En el caso de los trépanos, los mejores ejemplares pertenecen a la I Dinastía (<sup>94</sup>), época en la cual horadaban con estos instrumentos hasta el pórfido blanco y negro –un material abandonado para este género de trabajos en la dinastías subsiguientes. En cuanto al trabajo de alta precisión no hay para qué decir que después de Illahum (XII Dinastía) ya no aparecen obras comparables a las producidas por la avanzada goniometría de la IV Dinastía, y para reencontrar productos equiparables hay que esperar hasta el siglo XIX de nuestra era.

Este conjunto de circunstancias –que hemos analizado en detalle en la parte dedicada a la tecnología egipcia– nos presentan un panorama de involución científica y tecnológica en lugar de la aceptada evolución ascendente que pareciera ser uno de los principios cardinales de la arqueología. Pero una situación similar se reencuentra al estudiar la evolución de las culturas babilónicas donde, como puntualiza Neugebauer (<sup>81</sup>), el máximo desarrollo de la matemática corresponde a la I Dinastía de Babilonia (2000 a. C.); 1500 años después, en la época Seléucida, encontramos en Babilonia una matemática que es simple copia fiel de la del Antiguo Imperio. Se hace evidente que no ha habido ninguna evolución en XV siglos y Neugebauer se plantea el problema del origen y rápida evolución inicial de aquella ciencia. Neugebauer, lo mismo que Clarke (<sup>23</sup>), parece estar seguro de que la creación y evolución de la matemática se realizó en el breve período de tres siglos, ¿Cómo explicar, entonces, el estancamiento ulterior? El estatismo de las ciencias y las artes de los antiguos imperios se explica por su rígido sistema de enseñanza en que se entrenaba a los escribas para no introducir ninguna alteración en los textos que copiaban Aún los errores debían ser respetados. Así vemos en numerosas tablillas cuneiformes serias advertencias para quien introduzca la menor alteración en los textos –pasajes que cualquier lector puede releer "a la lettre" en los versículos finales del Apocalipsis. Por todo esto creo posible adelantar la opinión –que parecerá insólita– de que los escribas de las primeras épocas hicieron lo mismo que sus sucesores, es decir, se limitaron a copiar los textos que les llegaban por una tradición oral. En mi opinión, lo que surge a la luz de repente en los períodos iniciales de Babilonia y Egipto no es el producto de una "generación espontánea" sino el final de una trayectoria de siglos de tradición oral. Creo que admitir esto –un largo itinerario cultural desconocido para nosotros– es más ajustado a la realidad de los hechos históricos que suponer la creación de evolucionadas "técnicas científicas y perfeccionados instrumentos que de repente hacen su aparición en el escenario de Egipto y Babilonia.

## Ciencia Sagrada y Ciencia Profana

Un breve pasaje de Aristóteles –al comienzo de la Metafísica<sup>(8)</sup>– ha suscitado las más divergentes opiniones de parte de sus comentadores; es aquél en que el Estagirita después de dividir las artes y las ciencias en útiles e inútiles ubica entre estas últimas a las matemáticas diciendo: "Las matemáticas fueron inventadas en Egipto porque en este país la casta de los sacerdotes gozaba de un gran solaz".

Lo primero a observar en este pasaje es su oposición al concepto que difunden los manuales universitarios de historia donde se afirma que la geometría fue inventada en Egipto con una finalidad puramente útil cual fue la de restablecer los límites de los predios borrados por las Acrecientes del Nilo.

La segunda objeción a este pasaje proviene de los arqueólogos que sostienen, de acuerdo con la documentación –sería mejor decir la falta de documentación– que poseemos que no hubo en Egipto ningún conocimiento de la matemática. Lauer<sup>(88)</sup>, por ejemplo, opina que esta afirmación de Aristóteles sólo pudo aplicarse a las postrimerías del Imperio Egipcio cuando después de milenios de análisis de los antiguos monumentos los sacerdotes egipcios habían llegado a descubrir algunas de las propiedades geométricas de las pirámides que, según este autor, debieron ser totalmente desconocidas para sus constructores. Y en cuanto a la posibilidad de una ciencia secreta que justificaría el pasaje aristotélico, Lauer es de opinión que no la hubo en Egipto, pues, dice, no hay ninguna prueba de enseñanzas secretas en Egipto. Neugebauer<sup>(81)</sup>, por su parte, objeta el pasaje aludido por considerar que la presencia de una clase ociosa no es garantía de la existencia de un saber.

Es posible impugnar este pensamiento de Aristóteles porque en él se manifiesta la idea de una elaboración de la ciencia egipcia, lo que implica una idea de progreso y desarrollo del conocimiento; idea familiar para el hombre griego de la época de Pericles tanto como para el moderno, pero muy difícilmente aplicable a aquellas culturas en que el estatismo y la reverencia hacia el pasado hacen imposible todo progreso de las ideas. Es difícil leer un papiro egipcio –o una simple inscripción– en donde no se insista sobre el antiquísimo origen de los conceptos allí expuestos. En el papiro médico de Berlín<sup>(15)</sup> se nos informa que fue encontrado entre antiguos escritos encerrados en un cofre en tiempos del rey Usephais –que según A. Rey<sup>(109)</sup> correspondería a la I Dinastía. En el papiro Smith<sup>(15)</sup> se dice que el mismo contiene "el conocimiento secreto de la diosa Isis" que fue presentado a la majestad del rey Kheops. Este último papiro, como se sabe, corresponde a la XVIII Dinastía –época de los hicsos– pero su copista pretende haberlo obtenido<sup>(86)</sup> de antiquísimos documentos de la XII Dinastía (Ammenemes III). En el templo de la diosa Hathor, en Denderah<sup>(113)</sup>, un texto de las criptas precisa que su disposición se inspiró en viejos documentos escritos en rollos de cuero en el tiempo de los servidores de Horus (los soberanos anteriores a Menes).

Es innecesario seguir con las citas. Fórmulas de alquimia, recitaciones mágicas del "Libro de los Muertos"<sup>(58)</sup> o del "Libro de las Pirámides", inscripciones en templos, textos en papiros, etc., pretenden un origen antiquísimo que garantiza su sabiduría o su eficiencia. El espíritu entero de

Egipto se vuelve reverente hacia el pasado. ¿Quién puede aquí hablar de progreso, de elaboración de una ciencia? En los casos que conocemos, toda ciencia sagrada, toda cultura sacerdotal, es esencialmente estática. Y este estatismo lo vemos en la inmovilidad de una lengua, una vestimenta, una concepción del mundo que se mantienen inafectadas por los 35 siglos que van desde la I Dinastía hasta el cierre de los templos egipcios por Teodosio. Los egipcios del siglo IV d. C. ya no hablaban, pensaban, ni vestían como sus lejanos antecesores, pero sus sacerdotes usaban la escritura jeroglífica, hablaban una lengua arcaica y vestían a la manera antigua. Una situación semejante nos es dado contemplar hoy en la Iglesia Romana cuyos sacerdotes visten a la antigua usanza, escriben en el viejo latín y mantienen una doctrina revelada en la antigüedad. Si recordamos que la restauración de Lutero fue también un inclinarse a la superioridad de toda verdad antigua no tendremos por qué extrañarnos ante el estatismo de la concepción egipcia que excluía toda idea de progreso y que se esforzaba en no modificar "ni una jota ni una tilde" del texto de las antiguas escrituras. Se comprenderá, por lo mismo, por qué se entrenaba a los escribas babilónicos hasta el extremo de hacerles respetar los errores de las viejas tabletas cuneiformes que copiaban.

Es evidente que en estas culturas la idea de perfección se sitúa en el pasado. La convicción platónica de la sabiduría de los antiguos "que estaban cerca de los dioses" o como dice al comienzo del Fedro "que conocían la verdad" no es compartida por Aristóteles. No es propiamente una idea griega. No podría ser, tampoco, una idea moderna. El mundo griego –y el moderno– se caracterizó por una ciencia laica, impía: que aunque originada en los antiguos misterios les volvía la espalda, irreverente, para inclinarse, en su idea de perfección, hacia el futuro. Y esta idea de "progreso" en que está inmersa nuestra alma es la que hace "ver" a historiadores y arqueólogos un proceso progresivo en la evolución de las antiguas culturas. Es el mismo "pathos" que inspiraba a Aristóteles la idea de una "elaboración" de la ciencia egipcia en lugar de la consabida y supuesta "revelación".

Esta misma línea de pensamiento que estamos desarrollando nos permite explicar la sorpresa de Tannery (<sup>121</sup>) frente a la similitud que es dable observar en el tratamiento de ciertas cuestiones matemáticas del papiro Rhind y la aritmética de Herón. Le parecía que ni siquiera una tradición oral podía permitir el mantenimiento a lo largo de milenios de un paralelismo semejante y opinaba que "únicamente una prolongada tradición escrita podría explicar tales similitudes".

Sería largo seguir en detalle la trayectoria de este pensamiento oculto que forma el substratum de toda elaboración científica, filosófica o artística de la antigüedad. Lo descubriremos en la labor artesanal de todos los tiempos. Todas las artes e industrias de la antigüedad estuvieron obligadas a este secreto. El secreto del trabajo y explotación de los metales (<sup>31</sup>), del teñido de la púrpura, de la elaboración de la porcelana, de la fabricación de los instrumentos de música y de la tarea de los miniaturistas griegos y romanos se continúa dentro de la institución de los gremios medioeves y uno de ellos –la Masonería o gremio de los albañiles– se transforma en el arquetipo de las sociedades secretas del Occidente (<sup>50</sup>). Pero es en relación a la alquimia en

donde desde siempre se ha concentrado una densidad tal de secreto que los modernos especialistas en estos estudios (38), (31), (75) están contestes en reconocer la imposibilidad de adivinar siquiera cual pudo ser la finalidad perseguida por los alquimistas en la prosecución de sus operaciones de laboratorio –que por cierto nos son también desconocidas. Los antiguos alquimistas ya se quejaban de este excesivo afán de ocultamiento y Olimpiodorus (siglo V d. C.) en su "Comentario" a la obra de Zosimos dice: "Era costumbre entre los antiguos ocultar la verdad y las cosas completamente evidentes para los hombres mediante alegorías y el lenguaje artístico de los filósofos. En efecto, no sólo se han mantenido en la oscuridad estas artes honorables y filosóficas, por su exposición oscura y tenebrosa, sino que han reemplazado términos comunes por otros términos; como ocurre cuando se trueca lo que está en el sujeto por lo que no está en el sujeto". Opinión que no impide a Olimpiodorus –observa Mieli (75)– ser aún más oscuro que sus predecesores.

Con la evolución de la humanidad es lógico que la naturaleza y métodos del antiguo secreto sufrieran los consiguientes cambios, pero no desaparece. Fue sobre todo el desarrollo de la química lo que produjo la liquidación de los gremios medioevales, todos ellos basados en el privilegio del conocimiento de las numerosas recetas que ahora aparecían abiertamente expuestas en los textos científicos (38). Pero la necesidad del secreto persiste y la técnica de ocultar los "secretos industriales" a través de las llamadas "patentes de invención", aunque ignorada por el público lego, es bien conocida de los técnicos y especialistas. No será necesario considerar, tampoco, como un fenómeno anormal la existencia del secreto atómico y de cohetería que caracteriza a la ciencia del siglo XX.

La idea del carácter secreto de la ciencia sagrada es un fenómeno universal; se la encuentra en todas las escalas de la evolución humana, y en las fases primitivas asociada a los "secretos de iniciación" que estudian los modernos antropólogos como Mircea Eliade (32) y otros. En el mundo egipcio fue un lugar común que se transparenta en los textos y es fácil adivinar en las palabras de Ipu-Wer (106) –el Jeremías egipcio– que exclamaba en la época del saqueo de las tumbas: "¡En verdad, lo mágico está a la vista! ¡Los ensalmos se han vuelto ineficaces porque fueron repetidos por la plebe!"

Este mismo secreto envuelve las tabletas cuneiformes que repiten, como las de Esagil (83), "...al iniciado le harás saber..." y esto hasta para dar las triviales dimensiones de algún Ziggurat. Lo que se esconde detrás de estos "textos prohibidos" es siempre vulgar observan los arqueólogos modernos, y Neugebauer (81) considera que estas prevenciones tienen sólo un significado ritual. Es posible, pero un eco de ellas se escucha todavía cuando Platón hace decir a Sócrates, en el Protágoras, "Mira en derredor por si algún profano nos escucha" y esto después de haber preguntado, a propósito de la enseñanza de la justicia: "¿Se guarda el secreto de esta ciencia como se practica con *todas* las demás?"

Son numerosos los pasajes de los Diálogos en que el tema del secreto iniciático se hace presente. Todos los estudiosos de la filosofía platónica lo han percibido y Ortega y Gasset dice enfáticamente: "Nadie ha entendido el

Parménides". Lo mismo podría decirse de cualquier otro diálogo platónico. El Timeo es un enigma desde el propio comienzo con la interrogación socrática sobre el cuarto asistente. Enigmático es igualmente el Fedón. Lo son los indescifrables problemas matemáticos de la República. Y en el Fedro, el más transparente de los Diálogos, nos narra una historia que le fue contada como ocurrida en Naucratis, en Egipto, donde el dios Teut (Thot, el dios-escriba egipcio) aparece como inventor de "los números, el cálculo, la geometría, la astronomía, así como del juego del ajedrez y de los dados y, en fin, de la escritura" –una vasta enumeración que adscribe un origen egipcio para toda ciencia.

Continúa el Maestro: "El rey Tamus reinaba entonces en todo aquel país, y habitaba la gran ciudad del Alto Egipto, que los griegos llaman Tebas egipcia, y que está bajo la protección del dios que ellos llaman Ammon." Se narra, a continuación, el diálogo entre el rey y el dios que va presentando cada uno de sus inventos hasta que llegan a la escritura donde el rey disiente con Thot en los siguientes términos: "Padre de la escritura y entusiasmado con su invención le atribuyes todo lo contrario de sus efectos verdaderos. Ella no producirá sino el olvido en las almas de los que la conozcan, haciéndoles despreciar la memoria; fiados en este auxilio extraño abandonarán a caracteres materiales el cuidado de conservar los recuerdos cuyo rastro habrá perdido su espíritu. Tú no has encontrado un medio de cultivar la memoria sino de despertar reminiscencias; y das a tus discípulos la sombra de la ciencia y no la ciencia misma. Porque cuando vean que pueden aprender muchas cosas sin maestro, se tendrán ya por sabios y no serán más que ignorantes, en su mayor parte, y falsos sabios insoportables en el comercio de la vida".

Es posible que este escepticismo platónico con respecto a la facultad de conocer la ciencia por escritos –para quien no haya sido iniciado– no sea exactamente aplicable al mundo griego. Sobre todo la idea que se desprende de que la ciencia debe conservarse por vía oral, sería de importante aplicación al ámbito egipcio. Es posible que en esto Platón haya hecho, como después hicieron Diofanto y Herón, una simple translación de ideas y conceptos orientales y egipcios. En estos párrafos del Fedro, Platón lo afirma explícitamente pues lo que está narrando es una historia egipcia que le contaron como ocurrida en Naucratis, en Egipto –subraya– entre personajes egipcios. Y no es insólito atribuir aquí a Platón el carácter de "traductor" pues esto ya lo hizo en otras partes; como, por ejemplo, en la fábula de "Giges", estudiada por Dossin: *Giges* fue un pastor del rey que descendió a una caverna y encontró el *anillo* de un muerto; pronto se apercibió que cuando el anillo era *girado* él se tornaba invisible. En griego, como en español, esto es una simple fábula, pero en Súmero es, además, un gracioso juego de palabras pues todas las palabras subrayadas se escriben "*Gi-gi*". En esto reside el verdadero contenido del cuento que, es posible, Platón mismo no llegó a conocer.

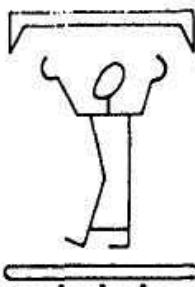


FIG. 4. Representación ideográfico-jeroglífica del dios Ptah.

Podemos plantearnos el problema del significado, en relación a la escritura griega, de estos conceptos de Platón en el Fedro; por mi parte me inclino a pensar que ellos no pudieron tener la vigencia del concepto original cuando expresado en relación al idioma y la escritura egipcia. En efecto, una de las características de la escritura jeroglífica (uno de los tres tipos de escritura egipcia), empleada principalmente para textos sagrados, es el poseer un triple contenido. Como observa Saunerón (<sup>113</sup>) al valor *fonético* de las letras del alfabeto jeroglífico se añadía el valor *ideográfico* que permitía expresar gráficamente los atributos de la idea o el nombre expresado. Así, por ejemplo, el nombre del dios Ptah (patrón de la ciudad de Memphis) se representaba con la P (cielo); la t (tierra), y la h (hombre de pie con las brazos en alto). Ahora bien, en la teología egipcia una de las funciones de Ptah era el haber separado el cielo de la tierra.

Pero además de esta bien conocida dualidad de la escritura jeroglífica, los monjes-escribas utilizaban combinaciones y valores alfabéticos semejantes a la cábala judía. Es por todo esto que Saunerón se pregunta hasta donde somos hoy capaces de penetrar el íntimo sentido de los escritos jeroglíficos.

Después de esto se percibirá plenamente el contenido de este otro trozo del Fedro: "El que piensa transmitir un arte consignándolo en un libro, y el que cree a su vez tomarlo de éste, como si estos caracteres pudieran darle alguna instrucción clara y sólida, me parece un gran necio; y seguramente ignora el oráculo de Ammón si piensa que un escrito puede ser algo más que un medio de despertar reminiscencias en aquel que conoce ya el objeto de que en él se trata."

A mayor abundamiento quiero agregar este pasaje de los escritos herméticos (tratado XVI, 1-2) -compilados hacia la época ptolemaica- que en un supuesto tono profético dice: "... aquellos que leerán mis libros encontrarán su composición simple y clara mientras que, al contrario, ella es oscura y guarda oculto el significado de sus palabras..." Palabras proféticas que parecieran tener vigencia todavía.

Las anteriores consideraciones se ven subrayadas por los análisis de los investigadores de la filosofía presocrática que la consideran originada en una filosofía egipcia y oriental acerca de la cual no tenemos la menor documentación. En uno de sus eruditos análisis observa Mondolfo (<sup>135</sup>): "La filosofía griega nace cuando el Egipto se abre a los griegos y el reino de Lidia se ha convertido en pasaje entre Grecia (especialmente Jonia) y el oriente mesopotámico y persa". Abel Rey (<sup>109</sup>), por su parte, observa: "¿El propio sentido común no nos inclina a pensar que entre los pueblos cuyas relaciones económicas fueron tan antiguas y numerosas haya podido establecerse comercio e intercambio de ideas?"

Toda la filosofía griega, desde sus orígenes hasta sus postrimerías (Filón, Plotino) aparece atravesada por el fenómeno pitagórico que, para insistir en sus orígenes orientales, tuvo su comienzo en Delos de donde, por las invasiones persas, la secta debió trasladarse a Sicilia. Y la escuela pitagórica no sólo contuvo la mística de los números sino también la religiosidad musical del orfismo y hasta el conocimiento de la medicina revelado en la operación

ocular de Alcmeón de Crotona. En particular, la idea de la "metempsicosis" es introducida en Grecia por el pitagorismo hacia el siglo VI; tiempo después la vemos aparecer en la India con el budismo.

En relación con la mística de los números se desconocen, si existieron, sus antecedentes orientales o egipcios; respecto de la filosofía hay quienes afirman su inexistencia en el Oriente Antiguo. Sobre la astrología y alquimia, Neugebauer (81) observa que ni en los papiros ni en las tabletas cuneiformes se encuentran referencias concretas a estas ciencias y que todo el material que poseernos es de pura extracción helénica; lo mismo puede decirse de los escritos herméticos de la época ptolemaica. Y en cuanto a la metempsicosis aunque Heródoto (48) dice que dicha doctrina se encontraba entre los egipcios, los historiadores no han descubierto ningún documento que pruebe tal aserto. ¿Habrá que pensar por ello que la metampsicosis, conjuntamente con la mística numérica, la alquimia, la astrología, la matemática y la filosofía fueron creaciones auténticamente griegas?

Para poder afirmar el origen autónomo de todos los aspectos de la cultura griega –para sostener que ni Egipto ni Babilonia poseyeron ni ciencias ni enseñanzas secretas– hay que tirar por la borda el peso de toda una tradición erudita de la antigüedad que sostuvo, unánimemente, el origen oriental de las ciencias de los griegos. Diodoro (27) opinaba que Orfeo, Museo, Hornero, Licurgo, Solón, Pitágoras, Thales, Platón, Eudoxio, Demócrito, etc., fueron a Egipto a instruirse. Platón, en el Timeo, afirma lo mismo de Solón, quedando así atribuido un origen egipcio no solo para la filosofía en general sino también para las concepciones avanzadas en materia de legislación presentadas por Solón, Licurgo y el propio Platón. No debemos olvidar las estrechas conexiones que hay entre la República y el Timeo.

Según Diógenes Laercio (Thales 43) Thales y Demócrito aprendieron la geometría y la astronomía en Egipto. Porfirio, en su "Vida de Pitágoras", insiste en el origen egipcio de las ideas de Thales y por consiguiente de las de Pitágoras. Olimpiodoro (Vida de Platón) dice lo mismo del Maestro de la Academia y Estrabón (Egipto XVII) sostiene igual cosa con relación a Eudoxio. Plutarco habla del origen egipcio de las ideas de Pitágoras, y Plinio es, en todo, de la misma opinión. Cabe añadir la ya citada referencia de Aristóteles para tener la unanimidad de los autores antiguos.

Es verdad que la crítica moderna ha observado el bajo valor probatorio de todos estos documentos y tradiciones antiguas. En particular relación a Pitágoras lo muestran así los análisis de Zeller-Mandolfo (134). Pero si bien es cierto que el conjunto de la documentación que poseemos no nos permite afirmar concretamente la existencia de íntimas conexiones entre el mundo griego y las ideas egipcias u orientales, ello no equivale a decir que esté probado que no hubo conocimientos científicos y filosóficos en aquellos pueblos. El reducido volumen del material informativo que poseemos no nos permite afirmar pero tampoco nos autoriza a negar.

Completando estas notas sobre la metodología arqueológica cabe observar la clara división en dos tendencias interpretativas con el predominio de una u otra según cual sea el material que se utilice para estos estudios. El

material que hemos llamado "filológico", científicamente interpretado –es decir con un mínimo de suposiciones– nos conduce concretamente a la inexistencia de una ciencia y una filosofía en el mundo egipcio y a la admisión de un incipiente conocimiento científico en Babilonia. Por el contrario, el material que hemos dado en llamar "tecnológico" nos enfrenta con capacidades técnicas que en algunos aspectos sobrepasan nuestras posibilidades modernas. Durante todo el tiempo de, evolución de la arqueología, prácticamente el único material analizado ha sido el que llamamos filológico; ello explica la naturaleza de las doctrinas actualmente en boga en arqueología. Por otra parte, debemos llamar la atención sobre la poca importancia prestada –y hasta podría hablarse de cierto deliberado silencio– en torno a los estudios que se refieren a los elementos tecnológicos de estas culturas.

En lo concerniente al material tecnológico de alto desarrollo, el mismo cubre un pequeño lapso de tiempo –el que va de Menes a Kheops– y se circumscribe a muy pocos elementos ubicados en un restringido marco geográfico –una línea de escasos 30 kilómetros que va de Abu-Roasch a Memphis. En este conjunto, como pude constatarlo personalmente, los elementos más interesantes ofrecen siempre una apariencia deleznable que no los hace atractivos al profano. Los materiales tecnológicamente más conspicuos han pasado en general desapercibidos para los arqueólogos que poca o ninguna atención han prestado al sarcófago de Kheops, y su cámara mortuoria, al sarcófago de Diodefre y al sarcófago y cámara de Sekhem-Khet. En el Museo de El Cairo la regla de buscar el material no bien terminado me permitió encontrar cómodamente lo más interesante desde el punto de vista tecnológico.

Hasta aquí nos hemos ocupado principalmente con cuestiones atingentes a tecnología. Como es natural, ellas llevan involucrado un análisis más estrictamente científico que es lo que realizaremos en lo que sigue del libro.

## La Metroología

La metroología egipcia comienza con los trabajos de Sir Isaac Newton publicados en "A Dissertation on Cubits", donde por el "análisis alícuoto" determina, a partir de las dimensiones de la Cámara del Rey –pirámide de Kheops– el valor de la unidad métrica más probablemente empleada por sus antiguos constructores: 0,5239 m. Más tarde –en "Treatise on Ancient Weights and Measures"– confirma sus anteriores resultados.

Posteriores estudios de Wilkinson realizados con patrones obtenidos del Musée Royal de París, de un "nilómetro" de Elefantina y de un propileo de Kamak llevan a una cifra coincidente con ésta y con valores obtenidos por Perring en la Gran Pirámide. Perring (<sup>127</sup>) observa que las medidas son muy precisas en la Cámara del Rey pero que las mismas "se dilatan" fuera de ella lo que él atribuye a la acción del tiempo. Un fenómeno similar de dilatación, esta vez con el tiempo, es constatado por Petrie (<sup>96</sup>) en lo referente a la evolución histórica del "Codo Real" a lo largo de los milenios de la cultura egipcia. En opinión de Petrie esta dilatación se debe al tipo de error sistemático

introducido por las sucesivas copias. La dilatación de las cámaras ha sido también observada por Petrie, que la atribuye a la acción de los sismos que han separado las juntas de las piedras.

Como han mostrado diversos autores, en especial Vázquez Queipo y Petrie, el estudio de la metrología es un instrumento auxiliar de la arqueología. En efecto, es posible seguir por el análisis de las unidades de medida conexiones insospechadas entre culturas aparentemente desconectadas. Así, por ejemplo, con relación a unidades de peso es posible vincular las unidades egipcias con la libra inglesa -454 gramos- la libra española y la libra peruana precolombina; como es sabido, en los mercados del Cuzco se usaban indistintamente los patrones españoles y los autóctonos<sup>7</sup>.

Según Petrie (87), el Codo Sagrado de los Hebreos, o Codo Real Persa, aparece en Grecia y también es usado por constructores norteamericanos precolombinos. Esta unidad está muy próxima al Codo Real cuya longitud, apreciada a partir de la longitud de la Cámara del Rey, es de  $(0,52395 \pm 0,0001)$  m. Esta medida es según Petrie la mejor determinación obtenible para el Codo Real en el Antiguo Egipto por la exacta construcción de la base que permite apreciar hasta 0,1 mm. Otras medidas (88) obtenidas a partir de estructuras de la Gran Pirámide arrojan los siguientes valores alícuotos:

TABLA I

*Valores Alícuotas del Codo Real (88)*

Antecámara	0,52273 m
Ancho de las Galerías	0,52337 m
Cámara de la Reina	0,52349 m
Base de la Pirámide	0,52352 m
Longitud Pasaje Ascend.	0,52380 m
Cámara del Rey	0,52395 m
Cámara Subterránea	0,52451 m
Ancho Pasaje Entrada	0,52743 m
Promedio	0,52410 m

Un estudio similar en la segunda pirámide (Kefren) arroja como promedio aritmético 0,52527 m, o sea un codo algo dilatado con relación al de la Gran Pirámide. En general el codo de la Segunda Pirámide muestra signos de amplia dilatación. Esto puede apreciarse por el análisis alícuoto de su estructura más precisa que sería el sarcófago de granito cuyo pulido externo e interno asegura la apreciación del paralelismo debajo de 0,05 mm. El análisis alícuoto arroja como valores más probables (88):

Interior	0,53803 m
----------	-----------

<sup>7</sup> Ibarra Grasso, comunicación personal.

Exterior	0.5330 m
----------	----------

Otra estructura egipcia de importancia por la precisión de su talla que permite apreciar hasta 0,01 mm es el sarcófago pulido mate en granito rosa de Illahum (Sesostris II). El análisis alícuoto (<sup>90</sup>) muestra como valores del codo:

0,52342 m

0,52352 m

0,52410 m

0,52448 m

Promedio 0,52388 m

Como puede comprobarse por los datos anteriores los valores del Codo Real varían ampliamente dentro de una misma estructura de precisión. Podría pensarse que fuera incapacidad de los egipcios para la medición, pero si comparamos, por ejemplo, los valores de Illahum con los de la Gran Pirámide encontramos una exacta duplicación del codo a pesar de estar ambas estructuras separadas por un lapso de ochocientos años. No se comprende, entonces, la variación de los valores que es mucho mayor dentro de cada una de las estructuras que al relacionarlas con otras separadas en el tiempo y la distancia.

Estas variaciones del patrón pueden ser explicadas en algunos casos. Más adelante veremos que es posible pensar en una variación de los patrones para ajustarlos a ciertas necesidades métricas peculiares de los egipcios. Desde ya ello está en pugna con el sistema de patrones invariantes que es la aspiración de nuestra civilización. Pero podemos recordar la ya citada frase de Clarke (<sup>23</sup>) con relación a la extrema originalidad del espíritu egipcio en lo referente a construcciones. Aquí, en metrología, se manifiestan los egipcios igualmente originales y heterogéneos con nuestros puntos de vista. Los patrones, de hecho, son hechos variar deliberadamente dentro de cada cámara y de cada sarcófago siendo sólo los promedios de las diferentes estructuras comparables entre sí.

Otro punto sobre el cual no existe la menor referencia es el origen del Codo Real. El mismo aparece ya en la época Thinita de modo que, como todos los elementos de la tecnología egipcia, su origen debe ser rastreado allende los límites de la prehistoria.

Aquí adoptaremos para los subsiguientes análisis como óptimo valor del Codo Real el obtenido a partir de las dos longitudes (cara Norte y Sud) de la Cámara del Rey, es decir el valor: 1C = 0,523952 m.

Como punto final observaré que el análisis alícuoto es incapaz de revelar por sí solo si la "unidad patrón" egipcia pudo ser el valor aquí indicado, o su mitad o su doble. Vale decir que el patrón egipcio bien pudo ser 2C = 1,047904 m –una cuestión sobre la que volveremos más adelante.

## El Problema de Diodefre

El estudio de la metrología arqueológica en Egipto se detuvo en el punto en donde lo dejó Petrie. Puede decirse que en los últimos treinta años no se ha hecho ninguna contribución de valor en materia de metrología arqueológica egipcia. Podría pensarse que los avances logrados por aquel arqueólogo fueron suficientes por haber llevado la tarea a la perfección; pero este punto de vista estaría en contradicción con el propio criterio del citado autor que continuamente señala en su obra las innúmeras lagunas y las dificultades insuperadas de sus trabajos. En mi opinión, el abandono de la metrología como ciencia se debe al descrédito generado para esta disciplina por las publicaciones de Piazzi Smyth y sus sucesores. Personalmente encontré en Egipto una sorda resistencia de parte de muchos arqueólogos a la consideración de problemas de metrología pues ellos pensaban, con rara unanimidad, que "en las pirámides no hay ningún asunto de números". Esta confusión entre ciencia y superstición es muy posible sea uno de los factores determinantes del abandono de una disciplina netamente científica que contó entre sus cultores a hombres con Isaac Newton, Decourdemanche, Weigall, Vázquez Queipo, Wilkinson, Segré y al propio Petrie.

Otro de los factores que dificultan estos estudios reside en la modalidad exótica para nosotros del pensamiento científico de aquella lejana época. Como vamos a ver en seguida, puede sernos de mucha utilidad el conocimiento de algunas modalidades de la matemática babilónica que tenía ciertos punto de contacto con la egipcia. Y en el terna particular de la metrología estas conexiones son bien conocidas desde que, como observa Petrie, el Codo Real egipcio debiera llamarse más bien egipcio-babilónico pues existe completa correspondencia entre ambas unidades tanto en su longitud cuanto en su sistema de subdivisión decimal. En efecto, se conoce la división –que aparece en las dinastías egipcias posteriores– del "codo" en seis "palmos", pero en la época de la IV Dinastía las divisiones del Codo Real eran siempre decimales y lo mismo, señala el citado autor, las dimensiones de las pirámides de Gizeh están dadas de acuerdo a una escala decimal. Lo mismo puede decirse de Babilonia en donde, como es sabido, las unidades de superficie y volumen eran obtenidas a partir de la unidad lineal; y la unidad de peso correspondía al volumen de agua de la unidad de volumen. Exactamente como en nuestro moderno y racional Sistema Métrico Decimal (<sup>25</sup>).

El estudio de la matemática antigua nos será de utilidad para un mayor conocimiento de las peculiaridades de la metrología egipcia. En relación con la matemática babilónica son bien conocidas las "tablas de inversas" ("Igi") cuyo estudio ha permitido avanzar en el conocimiento de las operaciones efectuadas por aquellos antiguos matemáticos. Se conocen tablas de inversas para números enteros y fraccionarios –todas ellas en el sistema sexagesimal de numeración decimal en el cual los ceros venían indicados por la posición de los números. De una tabla de inversas perteneciente a la "Plimpton Collection" (Columbia University) ha hecho Neugebauer (<sup>81</sup>) un estudio exhaustivo. Me interesa destacar los errores que aparecen en esta tabletilla ya que, como observa el citado autor, los errores de los copistas nos ilustran muchas veces sobre sus procedimientos de cálculo.

Desde ya que los verdaderos errores son muy poco frecuentes en las tabletas matemáticas y es dable observar la presencia de ciertos errores particulares o peculiares que darían la impresión de ser deliberados. Se sabe que muchos de estos errores tenían una finalidad didáctica <sup>(81)</sup> y ya vimos en el capítulo sobre "Goniometría" la presencia de errores de medida deliberados que nos ilustran sobre los tipos de subdivisiones del círculo empleados por los antiguos topógrafos. En el caso que nos ocupa, encontramos dos errores particularmente significativos. Uno de ellos es la substitución de un número por su cuadrado: el otro es la substitución de un número por su mitad. En efecto se ha escrito, en notación sexagesimal, 7.12.1 en lugar de 2,41 y se ha escrito 53 que es la mitad del número 1,46 que debió haber sido escrito. Se encuentran también en otras tabletas sustituciones de un número por su inversa, apareciendo como el error más común –casi obligado por la indefinición de la posición de la coma– la substitución de un número por sus múltiplos y submúltiplos periódicos –sexagesimales en este caso. El cero, claramente indicado con un signo, recién aparece en la época Seléucida, pero interpretable por la posición de la cifra es de uso normal en el Antiguo Imperio. Thureau-Dangin <sup>(121)</sup> ha puntualizado la enorme importancia de esta abstracción del valor numérico como herramienta, de calculo y que conduce al sistema de numeración arábigo de nuestros días.

Es importante que tengamos en cuenta la filosofía incluida en estos errores pues nos será de utilidad en nuestros análisis de la metroología egipcia. Lo que hemos visto sugiere que para un escriba babilónico había entre un número, su cuadrado, su inversa y su doble una identidad tal que podía representárselo indistintamente con cualquiera de estas expresiones. Esto está muy alejado de nuestra rígida y personalista concepción actual, pero aquel modo de pensar tenía sus razones de ser. En particular vinculación a Egipto, la asociación de un número con sus múltiplos y submúltiplos decimales tiene una raíz cosmológica de la que me he ocupado en otro lugar <sup>(1)</sup>.

Más adelante vamos a tener oportunidad de ocuparnos en detalle con los orígenes y derivaciones de otro "error" muy difundido en la matemática babilónica, o sea la costumbre inveterada de aquellos matemáticos de sumar cantidades heterogéneas tales como áreas y longitudes; ladrillos y hombres, etc. Esto que a nosotros nos está expresamente prohibido desde la enseñanza escolar donde nos prevenían de sumar "manzanas con caballos" era de uso corriente en Babilonia –como lo muestran las tabletas cuneiformes <sup>(81)</sup>– y forma el cordón umbilical que conecta al origen la matemática de Diofanto y Herón. Herón <sup>(81)</sup>, en efecto, realiza similares operaciones. ¿Pero se trataba de un verdadero error? Para nosotros sí lo es, pero ¿lo era para ellos? Podemos erigirnos en jueces sobre esta cuestión y condenar –como lo hacen unánimemente los historiadores de la matemática de nuestros días– aquella "errónea" práctica; pero más adelante vamos a ver cuan poderosas razones había para proceder de aquel modo y tanto que implicaba el conocimiento de teoremas ignorados por los geómetras modernos. Este fenómeno –puntualizado más adelante– representa una aguda discontinuidad entre la matemática egipcio-babilónica y la que, a través de Grecia, llegó hasta nosotros.

Estas observaciones sobre aquella antiquísima aritmética van a sernos de utilidad en el análisis que vamos a efectuar del sarcófago de Diodefre –hijo de Kheops– del que ya hemos hablado por mostrar en el Museo de El Cairo los métodos de aserrado empleados por los antiguos artesanos.

Las dimensiones –obtenidas por el autor– de dicho sarcófago, catalogado con los números 54.938–6193, correspondientes a la media aritmética de seis medidas independientes son las siguientes:

	<i>Interior</i>	<i>Exterior</i>
Largo	2,090 m	2,450 m
Ancho	0,890 m	1,230 m
Altura	0,711 m	0,885 m
Volumen	1,330 m <sup>3</sup>	2,660 m <sup>3</sup>

El análisis alícuoto del largo interior (2,090 m) nos revela como unidad un Codo Real de 0,523 m con ayuda del cual podemos determinar las primitivas dimensiones numéricas del sarcófago. Por razones que se apreciarán más adelante, prefiero hacer la traducción con el doble de dicha unidad, es decir, el valor 1,046 m –lo cual no hace violencia a ninguna concepción metrológica. De esta forma, las dimensiones quedarán en la disposición indicada en la Tabla siguiente que adoptaremos en adelante para especificar las dimensiones de cámaras y sarcófagos, es decir: En primera línea, el largo, ancho y altura interior; en la segunda línea las correspondientes cantidad exteriores.

$$2,00 \times 0,855 \times 0,685 = 1,17$$

$$2,34 \times 1,17 \times 0,855 = 2,34$$

Si se analizan estas dimensiones se descubrirá que siete de las ocho cantidades corresponden a un mismo número. En efecto

$$2,34 = 2 \times 1,17$$

$$0,855 = 1/1,17$$

$$0,685 = (1,17)^2 / 2.$$

vale decir que las seis dimensiones del sarcófago y sus volúmenes interno y externo están determinados por el número 234, su mitad, su inversa y su cuadrado.

Si se hace el planteo del problema resuelto en el sarcófago de Diodefre, el mismo podría especificarse en estos términos:

*Problema:* Dimensionar un sarcófago de modo que todas sus dimensiones lineales y su volumen interno y externo estén determinados por un número, su inversa, su mitad y su cuadrado.

Teniendo en cuenta que una vez dadas las dimensiones lineales el volumen está automáticamente determinado, el problema aparece a *priori* como insoluble. Si se analiza el problema desde el punto de vista de la "teoría

de ecuaciones", la cuestión equivale a resolver un sistema de ocho ecuaciones con seis incógnitas, el cual, reconocidamente, no tiene solución. Así pues, la solución encontrada por Diodefre sería la solución singular de un problema que no tiene solución general. Sin embargo, el problema admite *dos* soluciones generales que pueden escribirse en notación moderna:

$$2 \times 2/a \times (a/2)^2 / 2 = a/2$$

$$a \times a/2 \times 2/a = a,$$

que son, precisamente, las dos soluciones encontradas por Diodefre y aplicadas por él al número 234.

¿Por qué eligió Diadefre este número que no aparece jamás en la egiptología? ¿Qué significación especial tuvo para él este número destinado a servir de módulo único para su sarcófago? Más adelante vamos a volver a encontrar números como éste; por lo pronto observaré que el *modus operandi* mediante el cual fue dimensionado este sarcófago nos muestra –en asociación con la matemática caldea– que las operaciones de multiplicar por dos, de invertir el número o elevarlo al cuadrado no alteraban la esencia del mismo. Puede decirse, de este modo que el sarcófago está dimensionado con el solo número 234. Esta conclusión nos va a ser de utilidad en análisis ulteriores en donde volveremos a ver aplicada esta modalidad aritmética tan separada de nuestras concepciones modernas y que podría caracterizarse como una "inmortalidad" del número que no " pierde su "esencia" por su multiplicación por sí mismo, por dos, por diez o por su inversión. Evidentemente, algo así como una metempsícosis numérica muy al estilo de las ideas religiosas de aquellas lejanas épocas.

Como han mostrado fehacientemente las investigaciones de Thureau-Dangin (<sup>124</sup>) y Neugebauer (<sup>81</sup>), los babilonios conocían el Teorema de Pitágoras 1500 años antes de éste, es decir hacia el año 2000 a.C. (I Dinastía de Babilonia). Pero el "Problema de Diodefre", con sus dos soluciones generales, corresponde al año 2.500 a.C. Debe considerárselo, por tanto, el más antiguo problema del mundo.

## Los Números Irracionales

En la época en que se creía en la "generación espontánea" de las culturas la idea del "milagro griego" apasionó a varias generaciones de investigadores en continuidad, hasta hace menos de cincuenta años, del impulso entusiasta del Renacimiento. Pero después de las investigaciones de Thureau-Dangin (<sup>124</sup>), Neugebauer (<sup>81</sup>) y Bruins (<sup>17</sup>) sabemos que mil años antes de Pitágoras y Euclides los babilonios ya conocían el célebre teorema, habían desarrollado y resuelto los "problemas de Diofanto", conocían la fórmula del Gnomon, atribuida a Pitágoras, como asimismo la fórmula de Herón para una raíz irracional. En otros términos, tal como lo decían los griegos –y contra la opinión de los historiadores del siglo XIX– la matemática griega fue simplemente la continuación de una matemática abstracta ampliamente desarrollada que floreció más de mil años antes del milagro griego.

No disminuye ello en nada el mérito de los matemáticos griegos. Los griegos fueron capaces de crear un sistema de "ciencia laica", único en la historia, de la que nosotros somos los continuadores en estilo, que se caracterizó por una tremenda libertad frente al pasado –en claro contraste con la ciencia secreta de los monjes de Babilonia y Egipto atada a un pasado inamovible e impedida por tanto de todo progreso. El sentido de libertad, de creación y de racionalidad que impusieron los griegos a su ciencia y su política es básicamente la esencia de nuestros ideales y por tanto debemos ver en ello el verdadero milagro de aquel pueblo de sabios, filósofos y artistas verdaderamente libres.

Uno de los puntos cruciales de la matemática griega lo fue el problema de los números incommensurables o "números irracionales" que aparecían como consecuencia del teorema de Pitágoras y que fueron considerados por los griegos como una calamidad. El hecho de que la hipotenusa del triángulo rectángulo viniera indicada por el valor  $\sqrt{2}$  y que este número –por una sencilla demostración ya conocida por los griegos– fuera un número incommensurable planteaba un hondo problema. Se tejieron en su torno leyendas como la del discípulo de Pitágoras (Hippasos de Metaponto) que por haber divulgado el secreto de la existencia de los números incommensurables fue condenado a muerte por su maestro y, habiendo logrado huir, los dioses hundieron el barco para castigarlo. La leyenda en sí es interesante pues nos ilustra sobre la raíz pitagórica de la preocupación por los irracionales y vincula el problema a la idea de "secreto iniciático" en la enseñanza de aquella escuela. Todo lo cual –sin necesidad de pruebas adicionales– apunta en el sentido de un origen oriental para el problema.

Otro asunto griego vinculado a esta misma cuestión lo fueron las antinomias de Zenón de Elea –todavía hoy sin solución y prolongadas en el seno de la moderna "teoría de conjuntos" como las "antinomias del infinito".

Es de hacer notar, ahora, que los modernos comentaristas de estas cuestiones insisten en considerarlas como problemas metafísicos al margen de las verdaderas cuestiones de la matemática. Aparte de lo que ello implica como criterio de valor, hay en esta interpretación de los hechos históricos un concreto error porque tales problemas no son meramente metafísicos ni fueron únicamente griegos. Ocurre, en efecto, que dos elementos conspicuos de nuestra matemática moderna: el "Cálculo Vectorial" y los "números complejos" deben su importancia matemática y técnica al hecho bien simple de que con estos algoritmos es posible superar el problema de la "irrationalidad" del triángulo pitagórico y obtener la hipotenusa como suma directa de los catetos. Cualquier electrotécnico conoce la gravitación de Steinmetz en electrotecnia por su introducción de la "variable compleja". Pero con ello Steinmetz no hizo básicamente otra cosa que determinar el valor de la impedancia (hipotenusa) por simple adición de la reactancia y la resistencia como catetos de un triángulo pitagórico.

Debemos, pues, considerar el problema de los números irracionales como una candente cuestión de actualidad científica que si bien preocupó a los griegos en dimensiones abstractas del pensamiento no deja de plantear problemas en el plano concreto de la tecnología moderna.

Los estudios metrológicos de Petrie en las pirámides muestran, también, la preocupación de aquellos constructores en relación con esta misma cuestión. Petrie hace notar que en los Sulva Sutra (siglo VII a.C.) los viejos matemáticos hindúes determinaban las dimensiones *lineales* de los altares con números *cuadráticos* de modo de obtener la diagonal por suma directa de los lados de un cuadrado. Y analizando metrológicamente la "Cámara de Belzoni" –Segunda Pirámide– encuentra que sus dimensiones, por el análisis alícuoto, están determinadas por números cuadráticos de sus dimensiones lineales en Codos Reales:

*Cámara de Belzoni (88)*

	Codos	<i>(codos)<sup>2</sup></i>
1ª Longitud	7,00	50
Ancho	9,50	90
1ª Altura	10,00	100
2ª Altura	12,00	144
Longitud	20,00	400

El examen de estas cantidades nos muestra como "números, redondos" más probables a las dimensiones dadas en *(codos)<sup>2</sup>*. De este modo, según Petrie (88) las cámaras fueron dimensionadas de acuerdo a múltiplos decimales enteros de números pares cuadráticos. Observa también Petrie que de este modo las diagonales quedan expresadas como suma directa de los lados. Así la diagonal de la base mide 490 *(codos)<sup>2</sup>*; la primera diagonal cúbica 590, la segunda 634, etc.

No es éste el único caso de relaciones determinadas por valores cuadráticos en las pirámides, y así, por ejemplo, Petrie (88) observa que la Cámara del Rey se halla colocada a la altura en que la sección plana de la pirámide es la mitad de la superficie de la base. Un fenómeno similar pude constatar personalmente en relación a numerosos sarcófagos del Museo de El Cairo, especialmente en los correspondientes al Antiguo Imperio. En relación al sarcófago de Sekhem-Khet igual cosa puede ser constatada.

En la Cámara de la Reina (pirámide de Kheops) –situada simplemente a mitad de la altura entre el suelo y la Cámara del Rey– las medidas, en mi opinión, obedecen más probablemente a un simple ordenamiento aritmético en codos reales:

*Cámara de la Reina (88)*

	codos	<i>(codos)<sup>2</sup></i>
1ª Altura	9	80
Ancho	10	100
Longitud	11	121
2ª Altura	12	144

(donde la 1<sup>a</sup> Altura se refiere a la pared hasta el comienzo del techo; la 2<sup>a</sup> Altura es la máxima altura del techo de dos aguas de esta cámara de igual disposición que la de Belzoni). La sucesión 9, 10, 11, 12 de los codos de la cámara parece cosa más deliberada que las cifras "redondas" de los valores cuadráticos. Pero esto en modo alguno involucra la negación de lo observado por Petrie que, como he dicho, pude constatar personalmente en el

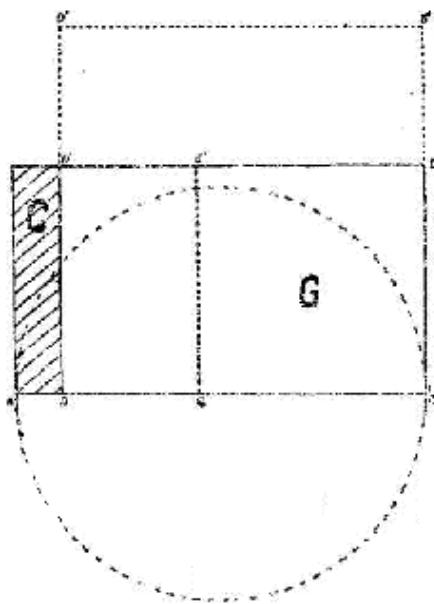


Fig. 5. Interpretación geométrica del pavimento de la Anticámara (Gran Pirámide).

dimensionamiento de numerosos sarcófagos. Pude apreciar, así, lo general de este curioso fenómeno. Es mi impresión que los números cuadráticos, en tanto sus cifras, no revisten una significación especial y parecería, más bien, como si los arquitectos egipcios hubieran poseído cintas métricas divididas centimétricamente pero que en los lugares de las indicaciones lineales, es decir, 1, 2, 3, 4, 5, 6... etc., tuvieran escrito: 1, 4, 9, 16, 25... etc. Esto hubiera permitido a aquellos "arpentonautas" la directa determinación de una base o un muro a escuadra por simple comprobación de la diagonal de valor igual a la suma de los lados. Me permito sugerir el procedimiento a los modernos constructores y recomendar su estudio a los electrotécnicos, como una tercera solución del problema de los irracionales.

En el análisis de la "Anticámara" (Gran Pirámide) las medidas resultan más sencillas utilizando el doble del codo real. Algo similar ya vimos en el estudio que hicimos del sarcófago de Diodefre. El análisis metrológico, desde ya, no se altera por tal cambio de unidades, pero el análisis numérico cobra un rico significado como problema geométrico. La interpretación metrológica de esta cámara es, con relación a la geometría, lo que el sarcófago de Diodefre representa para la más antiquísima aritmética.

La Anticámara presenta la particularidad de que su pavimento está dividido en dos secciones una de las cuales es de granito y la otra de calcáreo. Piazzi Smyth estudió detenidamente esta disposición del suelo de la cámara – que por otra parte llama la atención de Petrie por la exactitud de su

construcción- pero no pudo obtener un resultado concreto por su vano empeño en querer interpretar sus dimensiones con la unidad por él inventada y que llamaría "pulgada piramidal". El análisis metrológico con el doble del codo real presta un sentido concreto a las dimensiones de la cámara que tomo de las cifras, coincidentes, de Piazzi Smyth y Petrie:

*Anticámara (1<sup>a</sup> Pir. Gizeh)*

Ancho	BB'	= 1,57	= $\pi/2$
1 <sup>a</sup> Longitud	DB	= 2,51	= $\sqrt{2}\pi$
2 <sup>a</sup> Longitud	AB	= 2,82	= $2\sqrt{2}$
Altura		3,60	= 360/100

La altura de 3,60 metros egipcios nos da el valor trivial de la división sexagesimal de la circunferencia. La misma puede servirnos como "número redondo" para el análisis alícuoto. Mostraría, además, el empleo de las medidas sexagesimales para la división de la circunferencia por parte de los egipcios -lo cual no era de esperar dado el carácter totalmente decimal de la metrología piramidal de la IV Dinastía observado por Petrie (88). Ello confirmaría los análisis que hicimos en "Goniometría" de los cuales concluimos la posibilidad del uso por los egipcios de las dos divisiones de la circunferencia (la decimal y la sexagesimal).

El valor AB/2 = 1,41 (Fig. 5) nos indica el valor de  $\sqrt{2}$  (= 1,41) de tal manera que el círculo de diámetro AB tiene una superficie.

$$\pi\left(\frac{AB}{2}\right)^2 = \pi\left(\frac{2,82}{2}\right)^2 \cong 6,28 = 2\pi$$

De la misma manera, el cuadrado determinado por DBB'D' tiene una superficie igual a la del círculo anterior:

$$DB^2 = (2,51)^2 = 6,28 = 2\pi$$

Nos encontramos, pues, ante el más antiguo problema geométrico conocido: El problema de la cuadratura del círculo que, ahora vemos, viene desde los tiempos de Kheops.

La circunferencia de radio unidad –no representada en el problema– tiene su longitud igual a  $2\pi$ . La rectificación de la circunferencia el otro famoso problema, se encuentra también resuelta pues el cuadrado formado por el ancho de la antecámara tiene una longitud igual a  $2\pi$ :

En directa relación con problemas de matemática arqueológica, este

$$EBB'E' = 4BB' = 4 \times \frac{\pi}{2} = 6,28 = 2\pi$$

pavimento de la Anticámara quizás pueda explicarnos el origen de la relación 8/9 que determina el número  $\pi$  en el papiro Rhind y en el papiro de Moscú. Para obtenerla, los egipcios de épocas posteriores solamente tuvieron que medir la longitud del pavimento de granito y dividirla por la longitud total de la cámara.

$$\frac{2,51}{2,82} = \frac{8}{9}$$

que es la relación, bien conocida, entre el lado del cuadrado y el diámetro del círculo de igual área<sup>8</sup>.

Debe destacarse la exactitud geométrica y la coincidencia metrológica en este problema inscripto en el pavimento que vincula la rectificación de la circunferencia y la cuadratura del círculo con la cuestión greco-babilónica de la "aplicación de las áreas".

Observemos finalmente la sobriedad y ordenado desarrollo del problema que evidencia una elegante mentalidad matemática. Ello nos ilustraría mejor que el empirismo del papiro Rhind sobre las verdaderas fuentes en que abrevó el claro pensamiento de la Hélade.

## Los Sólidos de Arquímedes

El último y más grande representante de esta matemática de origen caldeo-egipcio lo fue un matemático de la Magna Grecia: Arquímedes de Siracusa. Representó la culminación de la matemática y la tecnología griegas y se acercó tanto a los modernos que se lo considera el creador del Cálculo Infinitesimal y la Mecánica Analítica. No es menester hablar de sus trabajos sobre hidráulica, mecánica, óptica, que son bien conocidos; bastará destacar que se lo considera por consenso unánime uno de los más grandes matemáticos de todos los tiempos.

Entre los desarrollos matemáticos atribuidos a Arquímedes se cuenta su famoso "algoritmo" –que establece, en lenguaje moderno, que el arco está comprendido entre el seno y la tangente– y con el cual Ludolf –1600 d.C.– calculó el número  $\pi$  con 32 cifras decimales. Arquímedes en cambio dio como valor de  $\pi$  la relación 22/7 o sea el número 3,1428.

Mucho se ha discutido sobre la supuesta incapacidad de Arquímedes para calcular  $\pi$  con mayor número de cifras (<sup>7</sup>). Para un calculista como Arquímedes no hubiera sido difícil calcular  $\pi$  con todas las cifras que quisiera. No se ha prestado atención a la verdadera preocupación de Arquímedes en este sentido que era la obtención de una "relación sencilla" para  $\pi$ . Para ello dio Arquímedes dos cifras:

y

una por exceso la otra por defecto. La primera, por exceso, corresponde al valor 22/7 – que aparece en la Gran Pirámide– y que es el mejor valor  $3\frac{10}{70}$      $3\frac{10}{71}$  "racional" de  $\pi$  conocido hasta hoy.

<sup>8</sup> Piazzi Smyth da como dimensiones de la Anticámara los valores AB = 116,25 y BD = 103,03 en "pulgadas piramidales". Aplicando la relación del "papiro Rhind" para  $\pi$  obtenemos de estos valores:

$$\left(\frac{2 \times 10303}{11625}\right)^2 = 3,1415$$

con lo que tendríamos en la Gran Pirámide, además de los dos valores de Arquímedes para  $\pi$ , también el valor exacto -no racionalizado. Considero a ésta una cuestión de gran importancia arqueológica que demanda ulterior investigación.

Volviendo sobre las posibilidades de Arquímedes para calcular  $\pi$  con muchas cifras, quiero recordar aquí una obra de Arquímedes desconocida para todos los eruditos de nuestros días<sup>9</sup> y sólo citada por Heiberg (<sup>44</sup>) en la cual Arquímedes calcula  $\pi$  con seis cifras. El título de la obra "De los paralelepípedos y los cilindros" es calificado por Heiberg como "misterioso". Más adelante vamos a ver la estrecha vinculación de este título con la geometría de los "Teoremas Métricos" –base matemática y origen de la metrología egipcia.

La obra de Arquímedes pone el énfasis en cuestiones que para los matemáticos modernos son de secundaria importancia. Según Plutarco (<sup>103</sup>) Arquímedes mandó grabar en su epitafio una esfera inscripta en un cilindro; y Cicerón confirma que éste fue el epitafio de su lápida del cementerio de Siracusa encontrada por él y olvidada de los compatriotas del genial siracusano. Se ha discutido en torno a la significación de este curioso epitafio y un moderno compilador de las obras de Arquímedes –Paul van Eecke (<sup>125</sup>)– lo asocia al de Bernoulli en el que figuraba la espiral logarítmica, creación del matemático francés, con la leyenda: "Renaceré igual a mí mismo" aludiendo a las conocidas propiedades de esta curva de ser su propia desarrollada, antidesarrollada, cáustica y pericáustica.

De cualquier manera que fuese, Arquímedes consagró al estudio de la esfera inscripta en el cilindro una parte substancial de sus meditaciones. Dejó escrito un completo tratado con el título "De la Esfera y el Cilindro" (<sup>43</sup>) que se ve continuado por otro titulado "De los Conoides y Esferoides" (<sup>43</sup>); e incluso su tratado "De el Método de la Mecánica" (<sup>45</sup>) gira en torno a esta proposición de las relaciones entre el cono, el cilindro y la esfera pues aquí demuestra las propiedades geométricas de estas figuras por la invariancia de lo que modernamente llamamos el "momento estático" y utilizando un método de cálculo que es, históricamente, el comienzo del cálculo integral. La inversión así lograda del problema geométrico es sólo comparable a la realizada dos mil años después por Descartes al crear la Geometría Analítica. La Mecánica Analítica se inicia con esta demostración de las propiedades de la esfera y el cilindro mediante consideraciones de naturaleza mecánica.

Es evidente que esta cuestión del cilindro y la esfera era una honda preocupación de Arquímedes. ¿Podría ser ello debido nada más que a la propiedad que cita Plutarco (<sup>103</sup>) de que los volúmenes del cono, la esfera y el cilindro se presentan en la relación 1, 2, 3? Personalmente, me inclino a ver lo substancial de este asunto en la proposición XXXIV del Libro I de "De la Esfera y el Cilindro" (<sup>125</sup>) en donde demuestra las propiedades del cono determinado por el círculo máximo e inscripto en la esfera y, sobre todo, en el corolario a esta proposición en donde demuestra que "la superficie de la esfera es igual a la superficie lateral del cilindro".

Para juzgar de la importancia de una proposición matemática no basta con analizar la posición jerárquica que a la misma corresponde en la exposición deductiva. Este simple corolario esconde suficiente substancia como para

---

<sup>9</sup> El Profesor Neugebauer (comunicación personal) considera puede tratarse de un error esta información de Heiberg sobre un libro de Arquímedes que se habría titulado "De los paralelepípedos y los cilindros".

haber hecho meditar a Arquímedes hasta la tumba.

Con esto volvemos al problema de los números irracionales que habíamos tocado al comenzar el capítulo anterior a propósito de los cuadrados de las dimensiones de la Camera de Belzoni (2<sup>a</sup> Pir, Gizeh) que permitían calcular directamente el valor de las diagonales como simples sumas. Y es de observar que en la proposición de la igualdad de las superficies de la esfera y el cilindro nos encontramos con un problema equivalente al de la cuadratura del círculo, porque la superficie lateral del cilindro es simplemente un rectángulo cuya área es exactamente igual a la de la esfera inscripta. ¿Cómo no habían de pensar los viejos matemáticos que por este camino llegarían a la solución del difícil problema de la cuadratura del círculo? El problema de la cuadratura de la esfera es en apariencia mucho más espinoso que el de la cuadratura del círculo y no obstante, por una ironía del destino, fue resuelto por Arquímedes con simplemente inscribir la esfera en el cilindro.

¿Cómo podría resolverse el problema? Los esfuerzos de los antiguos y del propio Arquímedes, tendientes a expresar al número  $\pi$  con una fracción sencilla vinculan a una misma preocupación el problema de los números irracionales y la cuadratura del círculo. Hoy el problema es puramente histórico pues al demostrar Hermite en 1873 que  $\pi$  es un número incommensurable quedó cerrada toda posibilidad para la solución geométrica del problema de la cuadratura del círculo. La simple expresión:  $e^{i\pi} = -1$  fue el punto final para milenios de preocupación en torno a la solución geométrica de la cuadratura, pues siendo  $e$  un número incommensurable, también debe serlo  $\pi$ .

Pero ¿supo Arquímedes que la figura que ordenó inscribir en su tumba era la imagen geométrica de la Gran Pirámide? La obra de Arquímedes tiene mucho de personal y lo que él recibiera de sus maestros, y él mismo aprendiera en Alejandría, difícilmente contendría lo ya perdido en una tradición varias veces milenaria. Es posible que hasta él llegara nada más que la idea de que en torno a estas figuras tan simples se encerraban importantes problemas y que, tentando su descubrimiento, llegara a aquellos sus desarrollos.

De cualquier manera que ello haya sido, lo concreto es que el "cono de Arquímedes" –el cono inscripto en la esfera– goza de la propiedad de que: "El perímetro de la base dividido por la altura es igual a  $2\pi$ ". Nos encontramos, pues, ante una total similitud geométrica. Es evidente entonces que en lenguaje geométrico la pirámide de Kheops es simplemente un cono. ¿Será necesario decir que el cono, a su vez, esconde al cilindro y que éste encierra a la esfera?

Así, pues, Arquímedes y los constructores de la pirámide coincidieron en atribuir una gran importancia a estas simples figuras de una geometría que, entre otras cosas, aspira a superar el abismo de la irracionalidad.

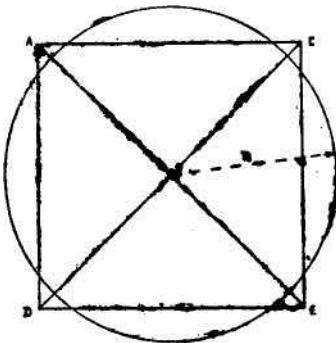


Fig. 6. El perímetro de la base de la Gran Pirámide es igual a la longitud de la circunferencia dada por la altura de ésta.

Ahora bien, si la pirámide es en realidad un cono ¿podrá ello tener otro significado aparte del geométrico? Hay que sorprenderse de que los arqueólogos hayan discutido y meditado tanto sobre las posibles relaciones que podrían existir entre el "ben-ben" de Heliópolis y la Gran Pirámide. Se han tejido las más inimaginables conjeturas para relacionar el ben-ben con la pirámide; desde aquellas que consideran que la visión de las pirámides en el desierto sugiere un cono a la distancia (<sup>30</sup>) hasta aquellas que creen ver al cono en los haces de luz que el Sol envía entre las nubes (<sup>76</sup>). Imágenes poéticas, sin duda, pero que no van a lo más simple porque si la pirámide es, geométricamente, un cono ¿qué tiene de extraño que el ben-ben o cono sagrado de piedra –guardado en el templo de Heliópolis como su más precioso objeto– tuviera vinculación con la pirámide? En algunos relieves egipcios aparece el Ave Fénix posándose en el ben-ben. Se interpreta esto con un contenido simbólico de resurrección: La pirámide, de esencia femenina, es fecundada por el Sol.

Habíamos visto que los números poseían, para los egipcios como una personalidad inmortal, una modalidad proteica; las figuras geométricas parecen poseer también algo de esta virtud mágica y el cono no es para ellos la simple equivalencia geométrica determinada por las proporciones de la pirámide. La pirámide es el ben-ben, el cono mismo. Esta capacidad de transposición es muy propia de los primitivos. Es lógico pensar que los monjes-astrónomos de la prehistoria vieran las estrellas con muy otros ojos que nosotros los mecanicistas del siglo XX. La magia de la *racionalización* que todavía sedujo a Arquímedes tenía que apasionar al geómetra de las edades primigenias.

## La Homogeneidad

Hemos podido acercarnos a la problemática de los antiguos matemáticos egipcios analizando ciertos aspectos del pensamiento griego y babilonio. Ello es perfectamente natural desde que la ciencia griega fue una continuación de la tradición egipcio-babilónica como lo atestiguaron Plutarco, Diodoro, Clemente de Alejandría y, modernamente, Tannery, Milhaud, Struwe, Thureau-Dangin y otros. Por ello mismo debe sorprendernos que hubiera cuestiones básicas de la

matemática egipcia de las cuales no aparecen ni vestigios en los tratados de los griegos y que, por consiguiente, han permanecido desconocidas para los matemáticos modernos.

Podrá parecer sorprendente que haya aspectos importantes de la matemática que por no haber trascendido al orbe griego resten desconocidos para los matemáticos modernos, pero al ocuparnos de las secciones cuadradas y las medidas cuadráticas de la pirámide ya rozamos algunas de estas cuestiones que no han preocupado a los matemáticos griegos ni a los modernos y cuyos únicos vestigios, hasta los trabajos de Petrie, los encontramos en los Sulva Sutra y la "errónea" práctica de Herón y los escribas babilonios de sumar longitudes con áreas. Ya vimos que en los Sulva Sutra se daban las longitudes de los lados de los rectángulos con medidas cuadráticas; añadiremos que allí aparece la proposición –que reaparece después en el Menón de Platón– según la cual el cuadrado construido sobre la diagonal de un cuadrado tiene doble superficie que aquél. Desde ya que esto es un simple corolario del teorema de Pitágoras –perfectamente conocido por Apastamba, compilador de los Sulva Sutra– pero es interesante volver a encontrar esta proposición en la relación de superficies de la sección horizontal de la pirámide, a la altura de la Cámara del Rey, y el plano de la base.

Vimos también la posibilidad de que las divisiones de la cinta de medir de los arpentonautas egipcios estuvieran expresadas en números cuadráticos, dada la frecuencia con que en el dimensionamiento de cámaras y sarcófagos encontramos que las dimensiones lineales corresponden a números enteros pares cuadráticos. Previmos la utilidad que semejante cinta de medir podría tener para el cómodo encuadrado de pisos, paredes y recintos.

Es posible que esta modalidad metrológica vuelva a tener algún día utilidad para nuestros tecnólogos, pues si la misma no se ha desarrollado entre nosotros es simplemente porque el concepto de *homogeneidad* –que nos enseñan desde el colegio– pesa tanto para un matemático moderno que lo inhibe de especulaciones en las que establezca la comparación entre unidades lineales y cuadráticas. Para nosotros es tan inconcebible medir una longitud con unidades de superficie como comparar manzanas con caballos –para citar el ejemplo del colegio. Y esta tendencia psicológica es tan fuerte que todo un importante principio físico: el "Principio de Homogeneidad Dimensional" –aceptado por casi todos los físicos de nuestra época– es nada más que el producto de un hábito inveterado que ha cerrado a la especulación científica importantes zonas del conocimiento. No me extenderé aquí sobre los aspectos físicos y astronómicos de esta cuestión para cuya ampliación remito al lector interesado a otras publicaciones <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup>.

En referencia a la metroología piramidal, el punto clave de toda la cuestión lo constituyen los *Teoremas Métricos*, de los cuales doy una demostración rigurosa en otro lugar <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>, pero que aquí explicaré en la forma más elemental posible. La idea general de estos teoremas es extremadamente simple pero, no obstante, resulta a veces difícil de percibir debido a nuestro entrenamiento en otros hábitos mentales. Estos teoremas –totalmente desconocidos para los matemáticos modernos– fueron la base de la metroología piramidal que al no trascender a la matemática griega aparecen como "el

secreto mejor guardado del mundo".

## Las Relaciones no-Homogéneas

Tenemos en las relaciones no-homogéneas una técnica metrológica ideal para indicar un patrón de medida que va más allá del simple recurso de indicarlo con secuencias de números –los números 9, 10, 11, 12 de la "Cámara de la Reina"– o con "números redondos" –las dimensiones 10 x 20 de la "Cámara del Rey"– o exhibiendo el patrón –la altura exterior de dos Codos Reales del sarcófago de Kheops– que han sido hasta ahora los únicos recursos de que se ha valido la metrología piramidal y "base del llamado "análisis alícuoto" de Isaac Newton.

Una de las formas más simples de aplicar la técnica de las relaciones no-homogéneas a la metrología podría consistir en establecer la condición de que la unidad de medida sea tal que haga iguales los números que indican el volumen y la superficie de una cámara dada. Así, por ejemplo, si consideramos una cámara de 10m x 5m de base y 5m de altura encontraremos que su volumen interior es de 250 m<sup>3</sup> y la superficie de sus seis caras es de 250 m<sup>2</sup>. Supongamos ahora que medimos esta misma cámara con una unidad de medida igual a la mitad de la anterior –llamémoslo "codo" de 50 cm– obtendremos como dimensiones de la cámara 20c x 10c de base y 10c de altura. En este segundo caso tendremos que el volumen es igual a 2000 c<sup>3</sup> y la superficie de la cámara igual a 1000 c<sup>2</sup>. Como vemos, se ha roto la igualdad anterior. Si dividimos el volumen por la superficie obtendremos:

operación que nos indica que si utilizamos una unidad igual a 2c obtendremos valores iguales para los números que indican la superficie y el volumen de la cámara.

$$\frac{2000c^3}{1000c^2} = 2c$$

El ejemplo anterior es pertinente, pues las dimensiones dadas corresponden a las de la Cámara del Rey, lo que en cierto modo indicaría que tal cámara fue cubicada con el doble del codo real. Más adelante volveremos sobre este problema; mientras tanto, debemos observar que estas dimensiones de 20 x 10 x 10 codos correspondieron también al "Sancta Sanctorum" del templo de Salomón (<sup>84</sup>) como indicado en la Biblia. Las dimensiones del pórtico fueron de 10 x 5 x 5 codos lo que mostraría que ambas cámaras fueron ajustadas a los dos patrones de medida (entero y mitad) que también encontramos en Egipto.

Hemos dado esto como un ejemplo de aplicación de las relaciones no homogéneas. Corresponde preguntar ¿fue este recurso utilizado por los antiguos egipcios? Creo que podríamos probarlo considerando la cámara de la pirámide de Seckhem-Khet (Sakkara) la cual, según las dimensiones dadas por su descubridor (<sup>39</sup>) mide:

$$S = 2[8,90 \times 5,22] + (8,90 \times 5,00) + (5,22 \times 5,00) = 234,1m^2$$

$$V = 8,90 \times 5,22 \times 5,00 = 232,2 \text{m}^3$$

Para determinar la unidad empleada en la medición, utilizaremos el recurso anteriormente indicado dividiendo su volumen por su superficie y encontraremos:

$$\frac{232,3}{234,1} = 0,9923 \text{m}$$

Vale decir, que esta cámara habría sido dimensionada con una unidad muy próxima a nuestro metro moderno. Más adelante veremos la especial significación geodésica de una longitud patrón de estas dimensiones. Mientras tanto, supondremos que la cámara ha sido dimensionada con este metro patrón y determinaremos los exactos números de medida que corresponderían a su superficie y su volumen. Tendremos:

$$1\text{M}^2 = (0,9923)^2 = 0,9847 \text{m}^2$$

$$1\text{M}^3 = (0,9923)^3 = 0,9771 \text{m}^3$$

de modo que los valores originales pudieron ser:

$$\frac{234,1}{0,9847} = 237,7 \text{M}^2$$

$$\frac{232,3}{0,9771} = 237,7 \text{M}^3$$

con lo cual hemos hecho la primera aplicación de los "teoremas métricos" y encontrado el número 2377 que pudo ser el indicado por los constructores de la cámara de Sekhem-Het -si es que realmente la cámara fue así dimensionada.

Pero este número no es conocido en la egiptología, por lo cual nos movemos en un terreno de mera suposición. Tratando de confirmar o desmentir nuestro supuesto hallazgo consideraremos las dimensiones del sarcófago de Alabastro que se encuentra en la misma cámara de la pirámide de Sekhem-Khet y al cual nos hemos referido en ocasiones anteriores. Goneim (<sup>41</sup>) ha dado como dimensiones interna y externa las siguientes (metros modernos):

$$1,84 \times 0,60 \times 0,62 = 0,6845 \text{m}^3$$

$$2,35 \times 1,13 \times 1,05 = 2,788 \text{m}^3$$

Para determinar las dimensiones originales debemos conocer el patrón de medida empleado. Cuando estudiamos el sarcófago de Diodefre encontramos "productos de inversas" que pueden utilizarse para descubrir unidades de medida, un interesante recurso metrológico. En este caso el producto

$$1,84 \times 0,60 = 1,104 \text{m}^2$$

nos permite obtener

$$\sqrt{1,104\text{m}^2} = 1,050\text{m}$$

o sea un valor igual al doble del codo real. Si con este "doble codo" calculamos las dimensiones originales del sarcófago tendremos:

$$1,75 \times 0,572 \times 0,59 = 0,590$$

$$2,23 \times 1,07 \times 1,00 = 2,386 \rightarrow [^2]$$

Como puede apreciarse por [^2] el volumen externo es cuatro veces el volumen interno (exactamente 4,07) dentro de los errores de medida admisibles. Del interior obtendremos los dígitos

$$590 \times 4 = 2360$$

que nos permitirán calcular como número más probable incluido en el sarcófago el número:

$$\frac{2360 + 2386}{2} = 2373$$

que coincide, dentro del límite de error, con el número 2377 que habíamos obtenido de la cámara. El promedio de estos números nos da la cifra 2375 cuyo significado no conocemos por ahora. Con lo cual queda la alternativa de que se trate de simples coincidencias.

## Los Teoremas Métricos

El teorema general de donde deriva toda la metroología egipcia puede enunciarse diciendo que "una relación no homogénea entre dos magnitudes determina únicamente una unidad de medida". Pero como ni los matemáticos griegos ni los modernos se atrevieron a realizar un género de operaciones que rompe con una tradición en la que el "principio de homogeneidad dimensional" es un dogma consagrado, este teorema ha permanecido desconocido hasta hoy.

En el Apéndice daré una demostración rigurosa del teorema, aquí continuaré la explicación comenzada en el capítulo anterior con una demostración más general que la ya vista aplicación.

Consideremos dos longitudes cualesquiera, por ejemplo, el largo y el ancho de una página de este libro; es evidente que entre ellas podemos establecer la siguiente relación

$$L = nA \rightarrow [^1]$$

que es independiente del sistema de unidades qué empleemos. Supongamos que la página mida en centímetros 30 X 15, en tal caso podremos escribir  $30\text{ cm} = 2 \times 15\text{ cm}$ ; si medimos en pulgadas tendremos:  $11,8' = 2 \times 5,9'$ , o sea que el número  $n = 2$  es independiente del sistema de unidades empleado para medir. Esta propiedad de invariancia del número  $n$  en la Ecuación [^1] se denomina "teorema de la significación absoluta de la magnitud

relativa" y se debe a Bridgman que fue el primero en enunciarlo como postulado (¹⁶).

Propiamente analizada la Ecuación [¹] –que siempre es posible plantear en cualquier problema geométrico– equivale a una ecuación con dos incógnitas, es decir que tenemos libertad para elegir el valor de una sola incógnita. Se comprende que si planteamos una ecuación independiente de la [¹] tendremos un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, lo que equivale a decir que habríamos determinado unívocamente la unidad de medida. Tendríamos algo como una unidad absoluta, superándose así, en cierto modo, el problema de la arbitrariedad de las unidades de medida que hasta ahora ha presidido toda elección de patrones métricos.

Ahora bien, la más sencilla entre las infinitas funciones independientes de la Ecuación [¹] que podemos imaginar es la relación:

$$L = A^2 \rightarrow [²]$$

que fue, precisamente, la elegida por los constructores de las pirámides para el planteo geométrico de los Teoremas Métricos. En el caso de la Gran Pirámide, los Teoremas Métricos fueron planteados en relación al "prisma de Arquímedes" indicado por la pirámide.

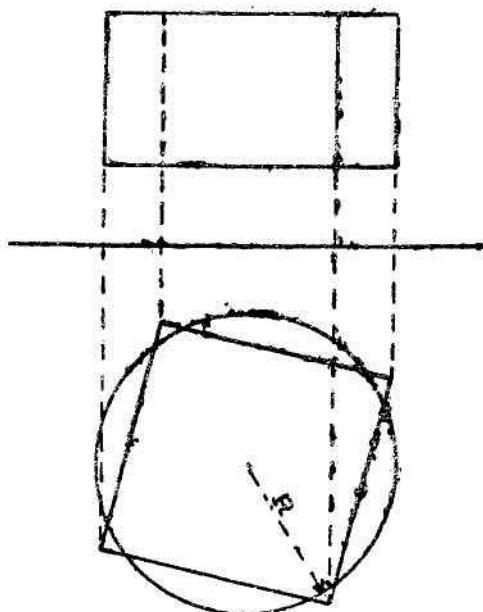


FIG. 7. El "prisma de Arquímedes" visto en corte y planta.

Ahora bien, como habíamos visto, dicho prisma se caracteriza geométricamente por la propiedad

$$\frac{4L}{2R} = \pi \rightarrow [³]$$

y como consecuencia de ello resulta que "la superficie de las caras laterales del prisma es igual a la hemisferia dada por la altura":

$$S = 8LR = 4\pi R^2 \rightarrow [⁴]$$

Como vamos a establecer los Teoremas Métricos entre la superficie lateral del prisma (esfera) y la superficie de la base debemos determinar el coeficiente n (relación de Bridgman) entre estas dos superficies:

$$n = \frac{8LR}{L^2} = \frac{16}{\pi} \rightarrow [5]$$

El planteo de los Teoremas Métricos se efectúa ahora en forma elemental

$$8LRu^2 = \frac{16}{\pi} L^2 u^2$$

escribiendo:

$$8LRu^2 = (L^2 u^2)^2 \rightarrow [6]$$

(donde u expresa la unidad en medida absoluta).

La primera de las ecuaciones [6] corresponde al planteo trivial expresado por la Ecuación [1]; la segunda a la Ecuación [2] como es fácil verificar. Tenemos así un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas. El sistema de ecuaciones [6] nos determina en forma absoluta las dimensiones numéricas de nuestro prisma de Arquímedes.

La resolución de este elemental sistema de ecuaciones nos brinda como dimensiones *absolutas* del prisma:

$$\begin{aligned} L &= 4/\sqrt{\pi} u \\ R &= 8/\pi^{3/2} \\ R/L &= 2/\pi \end{aligned} \tag{7}$$

Una variante del planteo (7) que será de utilidad para diversas aplicaciones de los Teoremas Métricos resulta de asimilar la superficie de la base del prisma a una esfera. Los Teoremas Métricos quedan planteados entre dos esferas escribiendo las Ecuaciones (6) de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} 4 \pi R^2 u^2 &= 16/\pi \cdot 4 \pi r^2 u^2 \\ 4 \pi R^2 u^2 &= (4 \pi r^2 u^2)^2 \end{aligned} \tag{8}$$

(donde r corresponde al radio de la esfera de superficie igual a la de la base del prisma).

Resolviendo este sistema encontramos como dimensiones para las dos esferas:

$$\begin{aligned} R/r &= 4/\sqrt{\pi} & u &= 2,2567 u \\ R &= 8 \pi^{3/2} & u &= 1,4367 u \\ r &= 2/\pi & u &= 0,6366 u \end{aligned} \tag{9}$$

La forma compacta de las expresiones (7) y (9) y su correspondencia numérica es una de las ventajas metrológicas de esta aplicación de los Teoremas Métricos al prisma de Arquímedes, que podemos considerar como un proceso de "racionalización".

Pero el hecho esencial que debe ser destacado es que los números que dimensionan al prisma y sus esferas, correspondientes a (7) y (9), son independientes del tamaño del prisma. Son *números invariantes* que determinan por sí mismos la unidad de medida.

Por ejemplo, consideremos un prisma de Arquímedes de una altura de 1,50 m; teniendo en cuenta que su altura es, por (7),

$$8 \pi^{3/2} u = 1,4367 u,$$

deducimos que la unidad de longitud indicada por el prisma es de 1 u = 1,048m, pues

$$1,4367 \times 1,048m = 1,50 \text{ m} .$$

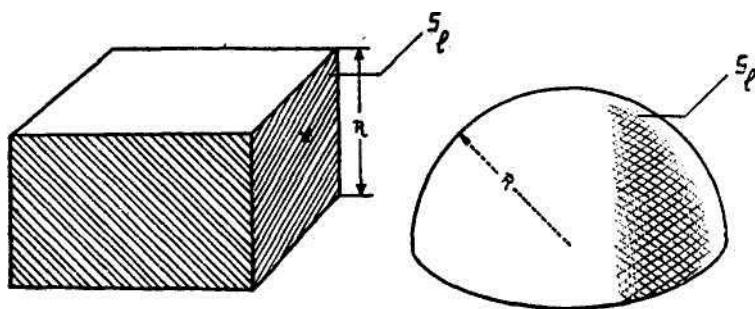


FIG. 8. *Propiedad Fundamental de la Pirámide: La superficie lateral del "prisma de Arquímedes" es igual al área de la esfera de la misma altura.*

### Metrología Racional

El metro que empleamos en nuestra época es producto de una convención de Delambre que estableció como unidad de medida la "diez millonésima parte de un cuadrante del meridiano terrestre":

$$1 \text{ m} = 1/4 \times 10^{-6} \text{ M.}$$

Esta convención tiene un sabor típicamente egipcio y debemos suponer que Delambre la adoptó por casualidad. En la actualidad se la considera imperfecta pues la definición del meridiano no tiene sentido geodésico; aparte de que dicha convención no toma en cuenta el hecho esencial de que la Tierra, como planeta, debe ser medida incluyendo la atmósfera —pues todos los demás planetas son medidos astronómicamente de esta manera. Se comprende, sin embargo, que en la época de incipiente conocimiento científico en que fue planeada estaban los humanos muy ajenos a las modernas preocupaciones espaciales por lo cual debemos perdonar los errores y omisiones de Delambre que, después de todo, como vamos a ver, eligió una feliz convención.

Una convención expresada en términos modernos preferiría definir una esfera determinada por el radio polar y a una altura dada de la atmósfera para la obtención de su meridiano. De este modo podría considerarse una excelente proposición tomar como altura de la atmósfera la cifra de 300 km.

Volviendo a los Teoremas Métricos, si quisiéramos aplicarlos para la determinación de un Metro Absoluto podríamos elegir la distancia al Sol (Unidad Astronómica) y el radio polar (Unidad Geográfica) como elementos concretos para su aplicación. Pero como la distancia al Sol es conocida apenas con cinco cifras nuestra convención adolecería de una cierta irreproductibilidad. Sería preferible basarnos en el radio polar —valor que es conocido con diez cifras— con lo cual obtendríamos un metro de máxima reproductibilidad. La convención aludida consistente en tomar una altura de 300 km para la atmósfera nos permitiría, además, la aplicación de los Teoremas Métricos en conexión con un prisma de Arquímedes —asegurando ello las ventajas de la racionalización.

En efecto, en las ecuaciones (8) el coeficiente de Bridgman —relación entre las superficies de dos esferas— es 16/JI y encontramos qué, por una coincidencia, la relación entre los valores de las esferas solar y terrestres (definidas por los radios antes indicados) se aproxima a este valor en los dígitos.

Esta métrica es de aplicación inmediata pues por las ecuaciones (9) vemos que la distancia al Sol viene expresada por el número 143,67 y el radio terrestre por el número 6,366 con lo cual basta para determinar los valores del Metro Absoluto. En el sistema absoluto, la distancia al Sol viene expresada por un número próximo a 144, valor que podemos tomar como cifra "redonda" de la distancia al Sol; en kilómetros absolutos, 144.000.000. Tal vez nos interese la longitud del meridiano. Puede ser calculada fácilmente:

$$2\pi r u = 2\pi \times \frac{2}{\pi} \times 10^4 = 4 \times 10^4 u .$$

O sea, que el Metro Absoluto es "la diezmilésima parte de un cuadrante del meridiano terrestre". Debe sorprendernos que hayamos arribado a la convención de Delambre por la simple aplicación de los Teoremas Métricos.

En cuanto al metro que surge de la "convención de Delambre corregida" está en relación con el actual:

$$1M = 1,04792 \text{ m.} \quad (11)$$

## Las Dimensiones de la Pirámide

Un resultado importante de nuestra indagación ha sido —aparte de haber determinado un Metro Racional de significación geodésica y astronómica— el constatar la permanente vinculación existente entre un prisma de Arquímedes y el Metro Absoluto por él determinado. No puede, por ello, dejar de llamarnos la atención el que el Metro Absoluto nuestro, indicado por (11) tenga una longitud de 1,04792m y que el Metro Egipcio (doble codo) tenga una longitud

1,04790m. Un resultado de esta índole queda un tanto al margen de la simple casualidad.

Pero como quiera que este metro corresponde a una pirámide de una altura de 150,55m y la altura de la pirámide de Kheops es de 146,65m se nos plantea un problema que sólo podrá ser superado si encontramos razones suficientemente valederas como para justificar se hayan modificado las dimensiones de la pirámide —que de acuerdo a la teoría que venimos desarrollando debe estar asociada al metro correspondiente.

Por lo pronto, esta diferencia de cuatro metros representa una economía del 10 % en la construcción, lo cual es una cifra respetable cuando se trabaja a la escala de la pirámide. Además, los constructores debieron sortear serios problemas de resistencia de materiales, como lo prueba el que los bloques del techo de la Cámara del Rey (Petrie) se hallen quebrados. Se atribuye a los sismos tales roturas —y ello explica las construcciones antisísmicas que los egipcios efectuaron sobre el techo de dicha cámara; es dable pensar por tanto que cuatro metros más hubieran reducido peligrosamente la estabilidad del edificio tan rigurosamente calculado.

Pero aunque logremos justificar el que la construcción no haya llegado al nivel previsto, ello no explica el por qué de la altura elegida. Puede tratarse de una altura de significación particular.

En cuanto a los valores correspondientes a alturas de la pirámide mayores que ella existe un recurso muy simple para dejarlos establecidos: Dejar en el suelo marcas o indicaciones especiales correspondientes a diferentes alturas de la pirámide.

Estas marcas existen y han dado origen a largas polémicas en la historia de la arqueología pues, ignorándose el significado de dichas indicaciones, era lógico se les dieran las más variadas interpretaciones. Tal fue el origen de una larga confusión sobre las verdaderas dimensiones de la pirámide a la que, aparentemente, pusieron fin las investigaciones de Petrie, primero, y Cole-Borchardt (88), (24) después. Haremos un rápido resumen de esta cuestión.

Las primeras mediciones de la Gran Pirámide corresponden a los valores dados por Heródoto y por Plinio los cuales, según Petrie (M), eran muy próximos a los reales. Tenemos indicaciones posteriores de autores arábigos que, como es sabido, no tienen valor metrológico. Puede decirse, por tanto, que los primeros valores para la Gran Pirámide corresponden a los obtenidos por el séquito de científicos que acompañó a Napoleón a Egipto y que aparecieron en sucesivos volúmenes publicados entre 1809 y 1829. Las mediciones de la Gran Pirámide, efectuadas por los arquitectos Coutelle y Le Pére, arrojaron para la longitud del lado, la cifra  $L= 232,74m$ . Jomard, hacia la misma época, obtuvo, en cambio  $L= 230,90m$ , -aclarando que la diferencia se debía a que los anteriores autores habían medido un zócalo exterior a la verdadera base de la pirámide. Posteriormente, la expedición inglesa de Vyse y Perring (1837) determinó como longitud de la base  $L= 232,86m$ . En 1870, Piazzi Smyth encontró que este valor era  $L= 232,16m$ . Finalmente Petrie (1885) establece que dicho valor es  $L= 230,34$ , que en 1925 se ve confirmado

por Borchard-Cole que establecen  $L=230,36$ .

Se ve, pues, que hay dos grupos de cifras perfectamente establecidos y en los que, con independencia de la época, coinciden diversos autores:

Autor	<i>L</i>	Autor	<i>L</i>
Jomard	230,90	Coutelle	232,74
Petrie	230,34	Vyse	232,86
Cole	230,36	Piazzi Smyth	232,16
Promedio	230,53		232,58

Las diferencias son, pues, atribuibles a divergencias de ""Criterio en la medición —lo que ya había observado Jomard; como hemos visto, hacia 1820. Lo que miden unos autores son las *dimensiones reales* de la pirámide y lo que miden otros son las *dimensiones indicadas* de la Gran Pirámide que sus constructores prefirieron dejar establecidas mediante los cuatro bloques colocados en sus esquinas con absoluta regularidad de modo que se obtengan mediciones reproducibles.

Recordando la característica de la "métrica absoluta" de dar números invariantes, cada uno de estos dos valores de *L* nos determina el valor de un metro. De acuerdo con (7) sabemos que  $L=4/V^* = 2,567$  u, de modo que el promedio de la segunda columna (232,58) nos determina un metro de

$$1u = L/(4/\sqrt{\pi}) = 232,58/2,2567 = 1,03061 \times 10^3 \text{ m.}$$

Esto equivale a decir que las dimensiones "indicadas" de la Gran Pirámide nos da un "codo" de 0,515m, inferior al valor standard. La altura de esta pirámide sería de  $R= 148,06$  m.

Al llegar a este punto del análisis ya es posible ver que existe una relación perfectamente establecible entre las dimensiones de la pirámide y el valor de los metros. De este modo, echamos de ver una posible asociación entre distintos valores métricos y distintas alturas piramidales. Ésta, como lo hemos señalado, es otra modalidad de la metrología egipcia por completo ajena a nuestros sistemas de patrones inmóviles. Esta circunstancia es fuente de confusiones metrológicas pero no está en nuestra mano el convencer a los antiguos metrólogos de la conveniencia de adoptar nuestros propios métodos. Más bien deberemos nosotros, resignadamente, adaptarnos a su modalidad de los "metros elásticos" y "valores numéricos fijos" —estos últimos determinados, como hemos visto, por los Teoremas Métricos.

Para proseguir nuestro análisis metrológico, formaremos la Tabla II con los valores del metro "indicado" (1,03061), el ya visto patrón obtenible de la base de la Cámara del Rey (1,04790) y, por motivos que justificaremos más adelante, el metro patrón que aparece en la parte externa del sarcófago de Kefrén —valor muy dilatado, en consonancia con la dilatación general del metro en la 2' pirámide ya observado por Petrie (M).

TABLA II

<i>L</i> (lado)	<i>R</i> (alto)	<i>M</i> (metro)	$\Delta r$ (altura polo)
232,58*	148,07	1,03061m	199,94 kM
236,48	150,54	1,04790*m	299,99 kM
240,56	153,15	1,0660 *m	400,29 kM

En esta Tabla las cantidades indicadas con asterisco son las magnitudes encontradas (dos metros y un lado piramidal) los otros son valores calculados de acuerdo a la teoría aquí desarrollada. Es interesante observar las alturas sobre el polo que resultan: 200, 300 y 400 kM, con una excelente aproximación. El patrón standard egipcio (1,04790) corresponde, pues, a lo que podemos denominar "convención 300", que, con cifras modernas para las dimensiones de la Tierra y la distancia al Sol vimos que nos daba un metro de una longitud 1,04792 —o sea exactamente igual al egipcio dentro de los errores mínimos admisibles. Tal es, pues, el origen y significación de este metro egipcio (Codo Real) que hasta ahora había sido un misterio insondable y que, como es sabido, aparece en Egipto en la época Thinita, es decir, al comienzo de la civilización egipcia —fenómeno en consonancia con el antiquísimo origen de los hechos tecnológicos y científicos de Egipto.

Interesantes conclusiones se obtienen por el estudio de los valores que aparecen en la Tabla III.

TABLA III

<i>L</i>	<i>R</i>	<i>M</i>	$\Delta r$
230,36*	146,60	1,02075	138,22
236,48	150,54	1,04790*	299,99
242,84	154,60	1,07607*	458,60

Las magnitudes marcadas con asterisco corresponden a magnitudes egipcias conocidas (dos metros y un lado piramidal) las otras son valores derivados. La primera línea corresponde a los valores reales de la pirámide determinados por Colé-Borchard (para  $n = 3,1416$ ); la segunda corresponde al codo real egipcio (1,04790); la tercera corresponde al patrón obtenible del interior del sarcófago de Kefré y que es el valor del codo más dilatado conocido hasta el presente. Si se hace la hipótesis de que el valor *R* de la segunda línea (150,54) corresponde a la unidad astronómica los otros serían los valores en perihelio (146,60) y en afelio (154,60). La simetría de estos valores es aceptable:

$$150,54 - 146,60 = 3,94$$

$$154,60 - 150,54 = 4,06.$$

De acuerdo con esta hipótesis la unidad astronómica sería de  $R = 150,54 \times 10^6$  km y la excentricidad de la eclíptica de

$$e = \frac{R_s - R_p}{2R} = 0,265.$$

El análisis de estas cifras (Tabla III) no nos da conclusiones tan aceptables como el de la Tabla II, pues nos muestra una órbita solar de excesiva excentricidad con poca variación del perihelio. En la Tabla IV condensamos estos resultados.

TABLA IV

	$R_p$	$R$	$R_s$	$e$
Actual).	146,97	149,47	151,96	0,0167
Egípcio)	146,60	150,54	154,60	0,0265

Estas últimas conclusiones son manifiestamente inseguras. Hay que observar también la necesidad de un estudio *in situ* de la base piramidal y de los metros conocibles hecho todo esto con el nuevo criterio aquí sustentado. Queda un punto oscuro: El verdadero valor de la Unidad Astronómica, pues el valor de  $R = 150,54$  m corresponde a la "convención 300" y es muy improbable que en la época que se hizo la determinación, existiera una completa coincidencia entre una y otra cosa. El verdadero valor del semieje mayor de la eclíptica resta desconocido.

Queda, sin embargo, un hecho concreto: La similitud del valor del perihelio (146,97) con la altura de la pirámide (146,60) que nos muestra que la altura de la pirámide, como era de pensar, está referida a la distancia al Sol en perihelio. El resultado coincide con los valores determinables en este momento utilizando el valor de excentricidad ( $e=0,0167$ ) y la distancia al Sol determinada con Radar ( $1.49470 \times 10^8$  km) (9). Con esto, creo, hemos resuelto el problema de aclarar justificadamente el por qué la pirámide no indicaba exactamente la altura promedio de la distancia al Sol. Es perfectamente lógico que de las tres distancias al Sol (Perihelio-Promedio-Afelia) los constructores de la pirámide hayan elegido la menor ya que cualquiera de estos tres valores tiene igual significación astronómica. La posibilidad de indicar mediante estructuras en el suelo las otras alturas posibles de la pirámide, hace aún más justificable su actitud.

El misterio de los metros patrones "elásticos" ha quedado suficientemente aclarado pues siendo el número 144 ( $8 j t^{3/2}$ ) un número fijo, las tres distancias (perihelio, promedio, afelia) vienen expresadas por tres metros-patrones diferentes.

### Papiros Egipcios

No vamos a seguir analizando otros muchos aspectos igualmente interesantes vinculados con la sorprendente metrología de los antiguos. Podríamos hacerlo, pero con ello no agregaríamos riada al grado de convicción que pueda emanar de los análisis anteriores. Aún cuando los multiplicáramos

indefinidamente, los mismos podrían ser objetados por una falla substancial: La carencia de documentos escritos que hagan referencia a las cuestiones que aquí hemos deducido de puros análisis metrológicos de estructuras.

La objeción tiene su razón de ser pues la metrología tiene el talón de Aquiles de las "simples coincidencias". Todo matemático que haya trabajado en metrología conoce esto perfectamente pues los números se combinan de tal modo que a veces aparecen resultados que no parecerían debidos al azar. Cuando un hábil calculista se empeña puede lograr las más inimaginables combinaciones que, lógicamente, son sólo producto de su habilidad. Por ello debemos extrañarnos del crédito que un hombre de la experiencia científica de Piazzi Smyth llegó a prestar a los productos de su propia habilidad matemática. Lógicamente, debo preguntarme, a mi vez, si el trabajo aquí efectuado con los Teoremas Métricos no es otro ejemplo de lo mismo.

Así, pues, aunque admitamos la belleza, simplicidad y racionalidad de las estructuras encontradas todo ello, de ningún modo, es probatorio de que tales cosas fueron conocidas por los egipcios. Diciéndolo con palabras de Arquímedes hemos desarrollado un "método de investigación", no un "método de demostración". Claro está que quien ha estudiado la teoría a lo largo de varios años y se ha llegado a compenetrar con el espíritu de quienes la desarrollaron debe estar convencido de que todo no es una simple creación personal del que investiga. Pero esta experiencia íntima y personal no es transmisible y no puede ser usada como argumento científico.

Llegamos a la conclusión de que en la hipótesis de que los antiguos egipcios hubieran poseído todos estos conocimientos y los hubieran dejado inscriptos en las pirámides su trabajo habría sido inútil por la deficiencia insuperable de la metrología de producir resultados por simple coincidencia.

No queda otra alternativa que poseer un texto que acredite de algún modo la realidad de tales interpretaciones. Pero como hemos visto que todos los textos egipcios están al margen de todo conocimiento científico nuestras esperanzas de encontrarlo aparecen nulas. Por fortuna, existen textos bastante explícitos en su exposición de los problemas metrológicos aquí tratados y que aunque no corresponden a papiros ni tabletas cuneiformes pertenecen a otras publicaciones de hace dos mil años. El pasaje más importante conectado, a la metrología aquí analizada aparece en el llamado Apocalipsis escrito hacia el año 70 d.C. por un autor que se identifica a sí mismo como Juan.

Como indicado en el libro, el Apocalipsis sería una compilación de sueños y visiones tenidas por su autor, un cristiano que vivía en la isla de Patmos. Su estilo, como ha sido señalado por los eruditos, corresponde al de un escritor poco versado en el griego; propiamente, un judío escribiendo en griego en la isla de Patmos hacia el año 50 de la Era Cristiana.

Este libro, que en el mundo católico ha tenido muy escasa repercusión, ha sido llevado y traído por las múltiples sectas del protestantismo; e interpretado de modo diverso, ya sea como Revelación Divina por los creyentes o como la pesadilla de un energúmeno —al decir de Brandes. Su historia iconográfica cubre uno de los más importantes capítulos del arte Medieval y Renacentista —

destacándose entre todas estas interpretaciones los famosos grabados de Durero. En cuanto a sus exégetas cabe citar a D. H. Lawrence (<sup>M</sup>) que distingue dos partes bien nítidas de diferente intención: La primera de fuerte acento pagano y la segunda de indiscutible significación judía.

Un análisis de la evolución de las escenas muestra, por otra parte, una coordinación determinada por un plan bien establecido. No se encuentra allí nada de lo que caracteriza a un proceso onírico. Uno de los tipos de asociación está determinado por elementos numéricos aplicados sistemática y regularmente. Los personajes, sobre cuyas características se vuelve una y otra vez, en ningún momento presentan el asociacionismo característico del subconsciente. La obra es, pues, el producto de una mentalidad que en el planeamiento y desarrollo de la coreografía raya a la altura de los grandes creadores de la novela y el teatro universal.

¿Por qué, pues, se admite que todo este libro sea el fruto de una exaltada imaginación cuando, no" producto de alucinaciones? Simplemente porque así lo dice el autor al comienzo. Pero un analista científico no tiene por qué creer todo lo que se le dice. En mi opinión, este libro es una acumulación de documentos antiguos de diverso origen, algunos de los cuales nos son conocidos. Y en efecto, por el estilo y el juego de los símbolos es indiscutible la conexión que presenta con los libros de Daniel y Ezequiel y también con el libro de Enoch. Esto ya ha sido señalado por diversos comentaristas. Pero también es dable encontrar contactos fuera de aquellos de extracción judía pues en su numerología aparecen constantemente elementos de origen egipcio tales como los números 24 y 42.

Otros elementos, sin dejar de ser egipcios, muestran extraños tintes mayenses. Así los colores de los cuatro caballos (Ap. 6) corresponden en perfecto orden y significación a los clásicos colores de los cuatro vientos de los mayas: (blanco-norte; negro-sud; rojo-oeste; amarillo-este), y se llega al extremo de que el color amarillo —simbólico de muerte en la América Precolombiana— viene aquí identificado con la palabra "muerte". Entre los mayas los puntos cardinales —como entre los africanos y muchos asiáticos— eran cinco porque se contaba el centro de estación. Los puntos del espacio, por consiguiente, siete (cinco más Nadir y Zenith). Esta misma clave se aplica sistemáticamente en el Apocalipsis en la designación de lo terrestre por el cinco y lo cósmico por el siete. Finalmente (Ap. 7) aparecen los doce meses del año en correspondencia con doce mil signos que hacen en total un número dé 144.000 días. Este ciclo de 144.000 días era conocido por los mayas con el nombre de "bactún" y era uno de los elementos básicos de su cronología.

¿De dónde pudo un autor judío del año 50 obtener estos exóticos conocimientos? Tengamos en cuenta que además de lo ya visto, aparecen en este libro cuestiones de carácter científico como el fenómeno al que prestamos atención en el capítulo "Óptica" de la exacta coloración según el espectro de un catálogo de piedras que aparece en él (Ap. 21). Vimos que ésta fue la primera vez que los colores del espectro solar aparecieron en un documento histórico.

Son también conocidas las conexiones entre este libro y antiguos textos gnósticos y herméticos de los egipcios lo que recientemente ha sido probado

para la Biblia por los rollos del Mar Muerto y para los escritos paulinos y su conexión gnóstica por Petrie (M). Todo lo cual probaría que en este libro, como es usual en los libros antiguos, aparecen copias y transcripciones de otros anteriores.

## Textos Metrológicos

El trozo del Apocalipsis, que en mi opinión es una transcripción de papiros egipcios corresponde al capítulo XXI, a partir del versículo 10. Comienza diciendo: "Y él me llevó... hasta una alta y enorme montaña y me mostró la gran ciudad" y añade que la ciudad tenía: "Una pared grande y alta con doce puertas y en cada puerta inscripciones con nombres que eran doce: los de las doce tribus de Israel".

Agrega: "Al Este tres puertas; al Norte tres puertas; al Sud tres puertas; al Oeste tres puertas".

Continúa: "Y Aquel que hablaba conmigo tenía una medida de una caña de oro para medir la ciudad, las puertas y la pared". "Y la ciudad se asentaba sobre un cuadrado de igual ancho que largo; midió él la ciudad con la caña: doce mil áreas. El ancho, el largo y la altura de ella son iguales". "Midió él la pared: ciento cuarenta y cuatro codos de la medida de un hombre, es decir la del ángel".

No hay inconveniente en relacionar la montaña con la pirámide y al prisma de Arquímedes con la alta pared cuadran-gular orientada según los cuatro puntos cardinales y dividida —por representar el contorno de la órbita terrestre— por los doce meses del año. La presencia de una esfera también se hace evidente cuando se dan sus tres dimensiones iguales. Se ven así reunidos en una síntesis poética la pirámide, el prisma y la esfera.

La mención de los *nombres* en número de doce puede asociarse al "Libro de las horas" egipcio en donde las horas están determinadas también por puertas, y por nombres en cada puerta que son doce. La naturaleza egipcia del texto queda así refirmada. En cuanto a que sean meses en este caso, ello es muy probable porque las cuatro divisiones de la órbita son las cuatro estaciones y cada una tiene su correspondiente división en tres meses, como indicado en el texto.

Que él trozo mencionado tenga relación con metrología me parece indudable. No creo que pueda interpretarse de otra manera la presencia de un personaje con una caña de oro para medir. Que con este patrón aureo obtenga dos medidas (la del ángel y la del hombre) es algo de lo que venimos hablando desde el comienzo y no creo necesite comentario adicional. En cuanto a que la altura de la pared sea de 144 metros, ya lo sabíamos, pues la altura de la pirámide tiene 144 Metros, de acuerdo con los Teoremas Métricos.

Éste es un punto que merece ser destacado pues aquí el texto es afirmativo de nuestras conclusiones. Debe observarse, además, que la simbólica ciudad es identificable con la esfera pues tiene igual alto que ancho

que largo y su superficie es estimada en 12.000 unidades de superficie —en lógica vinculación con la caña de oro. Aquí se ha utilizado un recurso mnemotécnico pues este número se vincula al 144, lo cual probaría se trata de una tradición más bien oral que escrita. De todas maneras, el número 12.000 también ha sido "redondeado" pues la superficie lateral del prisma es, exactamente, 12,960. Esta dimensión merece ser destacada por la circunstancia —casual— de que el número de segundos de la circunferencia es  $12,960 \times 10^5$ , lo que tiene un contenido métrico-estético pues sobre esta esfera la superficie del huso de un segundo es la unidad de superficie de la métrica absoluta. La "ciudad" es pues una esfera y el número 12.000 determina su superficie.

Siguen en el texto dos trozos de valor arqueológico indiscutible pues, como ya hemos observado, la sucesión de las piedras qué en él aparecen nos dan el orden de sucesión de los colores del espectro solar: sardónice, sardo, crisólito, berilo, topacio, crisopraso, jacinto, amatista; vale decir: rojo, rojo, naranja, amarillo, amarillo, verde, azul, violeta. En otro lugar (\*) me he ocupado in extenso de estos dos versículos (19-20). Me limitaré aquí a observar que su estudio me condujo a la observación dé que los planetas exteriores siguen ordenadamente la coloración del espectro solar. El profesor A. Wilkens (director del Observatorio de München, Alemania) se sorprendió de que una cosa tan evidente no hubiera sido observada en época moderna por ningún astrónomo. Pudo ser descubierta gracias a este pasaje del Apocalipsis donde la sucesión de los colores sigue la coloración de los planetas exteriores en el versículo 20 y de los restantes cuerpos celestes del sistema solar en el versículo 19. En efecto, las cuatro primeras piedras (versículo 19) se corresponden con los colores de Mercurio, Venus, Luna y Tierra: jaspe, zafiro, calcedonia, esmeralda. Es interesante subrayar la circunstancia de que la Tierra sea, efectivamente, un planeta verde —una cosa que sólo —conocemos de fecha reciente.

Termina el texto con este versículo: "Y las doce puertas, doce perlas; cada una de las puertas era de una perla y la calle de la ciudad de oro puro como si fuera vidrio transparente". En los tiempos en que los matemáticos árabes escribían sus tratados de trigonometría en verso era más fácil una interpretación científica de estos poéticos pasajes que en nuestra época en la cual la poesía ha sido desterrada de la ciencia. Hay en el estilo de estos versículos algo heterogéneo a la árida mentalidad que se cree debe presidir toda actividad científica moderna, La última parte del versículo puede sólo ser entendida por un poeta capaz de hablarnos del "invisible espacio del dorado Sol". En cuanto a las perlas y las puertas constituyen un bonito acertijo —al estilo de las tabletas babilonias— que podríamos transcribir en forma moderna preguntando: ¿Qué son las doce perlas que están ubicadas sobre la eclíptica?", con lo cual queda sobreentendido qué es la calle de la ciudad de oro transparente.

Restan por analizar los versículos 11 y 18 que dicen: "... y su luz como la más preciosa piedra, tanto como una piedra de jaspe clara como un cristal" y "y la pared estaba hecha de jaspe y la ciudad de un oro puro que me pareció cristal inmaculado". Hay que añadir el pasaje citado del versículo 21, "Y la calle

de la ciudad de oro puro como si fuera vidrio transparente".

La sistemática repetición de la figura poética del oro y el jaspe (materiales opacos) que se hacen transparentes como si fueran cristal inmaculado debe llamarnos la atención. En un texto en que los conceptos están comprimidos por una necesidad de síntesis tan apremiante —ya sea de origen poético o mnemotécnico— la extensa y complicada repetición de lo opaco dorado y transparente debe llamarnos la atención. La figura nos pinta poéticamente "el dorado espacio del Sol" y es evidente que la órbita de la Tierra es la calle de la ciudad. Las figuras parecieran querer decírnos que la grosera materialización de la pirámide no es más que el símbolo de estructuras sutiles —aún más transparentes que el propio espacio inmaculado como el cristal. Esto coincide con la interpretación que aquí hemos dado sobre el simbolismo métrico-cosmológico de la pirámide. Pero su sentido concreto no se me hizo visible hasta después de conocer los análisis químicos efectuados por Pochan (<sup>104</sup>) de acuerdo con los cuales el revestimiento de la Gran Pirámide estaba pintado con ocre. Ni los cronistas greco-romanos ni los escritores árabes que alcanzaron a ver las pirámides antes de que fueran semidestruidas nos dan indicación sobre su color. Los autores árabes, a lo sumo, se refieren a la pirámide de Micerino como la "pirámide colorada" —aludiendo al fastuoso recubrimiento de granito rojo que fue empleado para relleno en el arsenal de Alejandría.

Lauer (<sup>60</sup>) objetó los primeros trabajos de Pochan, pero éste (<sup>65</sup>) reiteró sus conclusiones observando que el estudio del gradiente del hierro del revestimiento —tanto intersticial como superficial— sólo puede explicarse como consecuencia de haber estado las pirámides pintadas con ocre. En mi opinión, como químico, las conclusiones de Pochan son irrefutables desde el punto de vista químico y por tanto tecnológico. Resta el problema de saber la coloración del ocre empleado. Pudo ella ser tanto roja como amarilla. El texto que venimos analizando nos muestra como color más probable al amarillo. En tal caso, el jaspe del revestimiento quedaría asociado a los opacos prismas ópticos que lo constituyen —con lo cual hemos venido a caer en la misma y paradójica figura del jaspe transparente como el vidrio del antiguo autor. Si se piensa que el revestimiento calcáreo que tuvo la pirámide fue de un costo superior al del resto de la ciclópea construcción, tiene cierto sentido la insistencia del autor de estos versículos. El objetivo de semejante esfuerzo de técnica óptica fue el logro de la elevada exactitud, goniométrica que conocemos. La finalidad concreta, asociar *vis a vis* de los versículos del Apocalipsis las peculiaridades de este canto a la armonía del Cosmos que es la Gran Pirámide. Como dijimos al principio, sin tai texto —que felizmente ha llegado hasta nosotros— todo el trabajo de los constructores se hubiera perdido. Debemos sorprendernos de la eficacia de los métodos empleados para hacer sobrevivir una estructura que resistió el empuje del tiempo y de los hombres y estos versículos —lo poco escrito que nos resta de una perdida ciencia. La humanidad futura sabrá mejor que nosotros qué tiene que agradecer a sus autores.

## La Cámara del Rey

Todas las pirámides son estructuras macizas ubicadas encima de galerías excavadas en la roca. Una excepción la constituye la Gran Pirámide con su "Cámara de la Reina", su "Galería Ascendente" —considerada el máximo exponente de la arquitectura antigua— y su "Cámara del Rey". Como hemos dicho, esta cámara está ubicada a la altura en que la sección horizontal de la pirámide tiene una superficie mitad de la base. Las dimensiones de la cámara son (88):

Largo	$(10,4790 \pm 0,0001)$ m
Ancho	$(5,2423 \pm 0,0001)$ m
1' Altura	$(5,84 \pm 0,05)$ m
2' Altura	$(5,9741 \pm 0,001)$ m

El análisis de estas cifras nos muestra que la máxima precisión debe ser atribuida al valor del largo del cual extraeremos, como unidad de medida, la longitud

$$1M = (1,04790 \pm 0,00001) \text{ m}$$

que coincide con el "Metro Absoluto" que establecimos por la "convención 300" y que en base a los más modernos datos astronómicos y geodésicos era de

$$1 M = 1,04792 \text{ m};$$

vale decir, una total coincidencia —hasta el orden de los errores admisibles.

Deberá llamar la atención el grosero error de la 1\* Altura que contrasta con la exactitud de los otros valores. Ello se explica porque dicha "1'-Altura" corresponde al valor tomado desde el piso de relleno, muy desnivelado, colocado sobre la verdadera base de la cámara. Respecto de este curioso fenómeno dice Petrie: "El desnivel de 5 centímetros en el piso de la Cámara del Rey sorprende pues la precisión de las medidas de esta cámara es del orden del milímetro en toda la extensión de sus bloques de piedra de una longitud de 150 metros y un espesor medio de 1,20 metros".

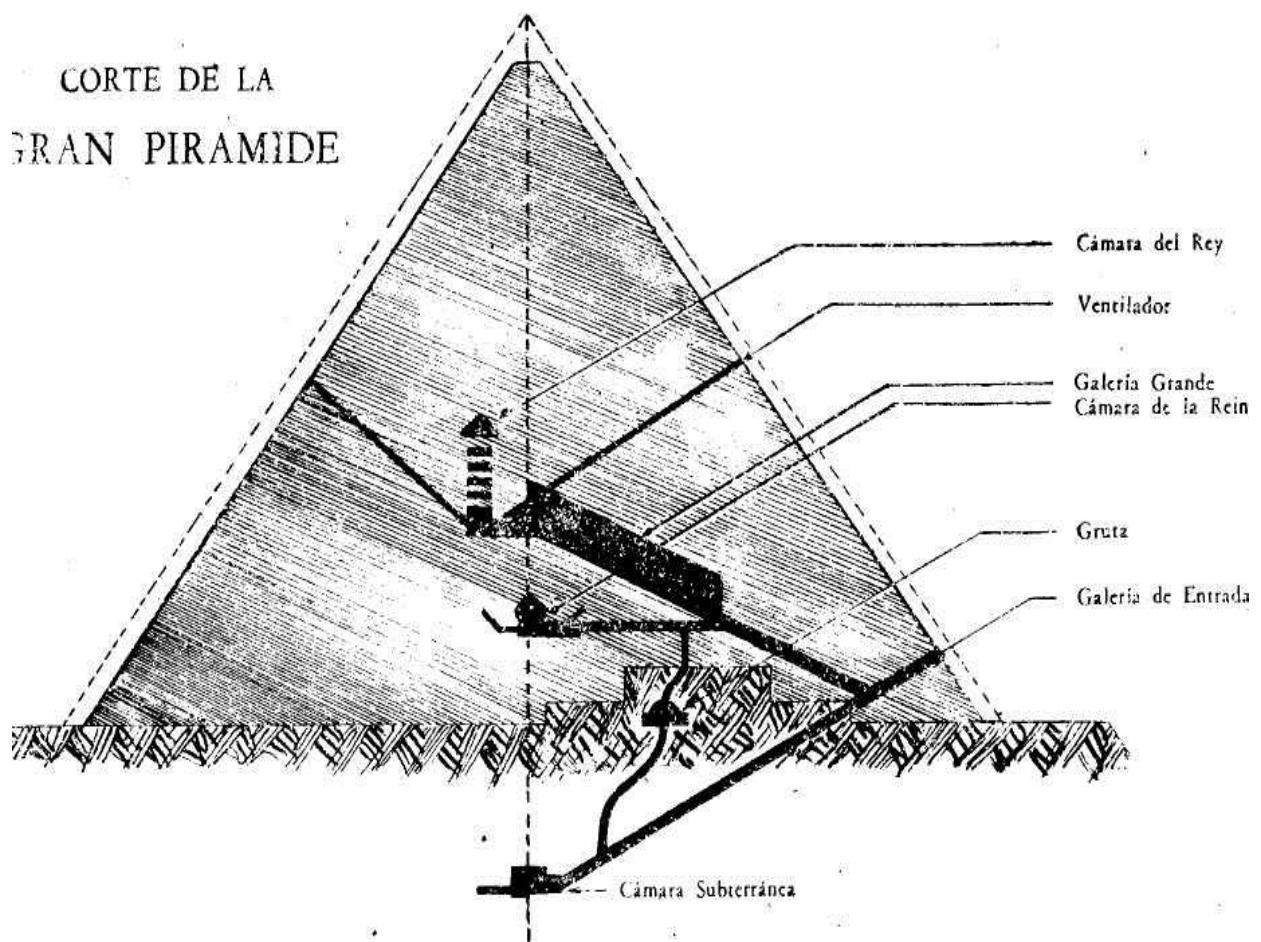
También contrasta con la precisión milimétrica de estas medidas el impreciso tallado del sarcófago que está sin terminar, es decir, apenas serruchado y sin pulir. Igualmente resulta sorprendente que los constructores no hayan terminado de pulir las paredes de la cámara.

Este desaliño en lo que constituye la parte central de la formidable construcción —formidable tanto por sus dimensiones como por el extremo cuidado de sus medidas y tallado de sus miles de bloques calcáreos y millones graníticos— ha llamado la atención y promovido interminables polémicas. Sin ánimo de entrar en la discusión, es menester observar que el sarcófago (88) —por sus medidas— debió estar en la cámara desde el comienzo de la construcción de la pirámide por lo cual más probable que un tan prolongado y

reiterado descuido sería suponer que tales "errores" se deben a un propósito deliberado.

Desde el punto de vista metrológico son de notar otros "descuidos" pues la altura exterior del sarcófago es de 1,0493 m con un posible error de 3 mm en su longitud; y el volumen interior de 1,180 m<sup>3</sup>, o sea de "un metro cúbico absoluto" (1,150 m<sup>3</sup>) con un error por exceso de 30 litros. Estas dos cuestiones han destruido numerosas teorías desarrolladas en torno a este sarcófago como supuesto patrón de medidas egipcias pues de ser su volumen de un metro cúbico egipcio (doble Codo Real) como se ha sostenido, el patrón debió tener 1,056 m, muy alejado del standard egipcio de 1,048 m.

Para interpretar la significación de estas imperfecciones, conviene observar que su incidencia directa en la metrología es privar de precisión a las cifras obtenidas por el estudio de estos elementos. No podremos, jamás, por el estudio de las dimensiones del sarcófago de Kheops llegar a cifras de la precisión obtenible por el estudio del sarcófago de Kefrén o del de Sesostris II cuyo pulimento asegura un exacto paralelismo plano, lineal y exactitud angular del orden de los mejores patrones normalizados de la técnica moderna. Lo mismo el valor indicado por la I<sup>1</sup> Altura no nos dará ninguna precisión. Así, pues, debemos descartar toda posible interpretación de estas medidas en alusión geométrica o de cualquier índole que implique precisión en los valores. En cambio, si pensamos que las magnitudes indicadas por estas medidas inseguras pueden referirse a constantes físicas o astronómicas conocidas por los constructores con un dado margen de error, resultaría que tales imperfecciones equivaldrían a nuestro moderno signo ( $\pm$ ) más o menos, con el cual al dar las cifras del comienzo de este capítulo hemos indicado los márgenes de error. Si aceptáramos esta hipótesis el problema quedaría aclarado. Se explicaría así el por qué de estos "errores" evidentemente deliberados.



Podríamos, pues, hacer la hipótesis de que el desnivel del piso de la cámara sería deliberado y con la intención de indicar los valores máximos y mínimos determinados por el error aceptable. Un sistema evidentemente ingenioso para expresar nuestro signo ( $\pm$ ) que veremos repetido al determinar los promedios de las dimensiones internas del sarcófago y que ya aplicamos al estudiar las dimensiones de la base de la pirámide.

Tratando de indagar la naturaleza de las supuestas magnitudes astronómicas así indicadas podemos proceder al tanteo. De esta manera será posible que entre las múltiples constantes astronómicas conocidas encontremos algunas que coincidan con estos valores. Pero es obvio que esto no sería un procedimiento científico y sus resultados carecerían de valor. Si las cantidades supuestamente inscriptas corresponden a constantes astronómicas ellas, además de poseer el valor conveniente, deberán estar ubicadas de acuerdo con un criterio racional. Para que podamos considerar a estas dimensiones como producidas por inteligentes astrónomos se hacen, pues, necesarios requisitos tanto cualitativos como cuantitativos. Sin éstas dos condiciones nuestro catálogo de valores será simple producto de la habilidad del buscador de coincidencias.

¿Qué cantidades, pues, serían las inscriptas? En el exterior de la pirámide hemos encontrado dimensiones geodésicas y astronómicas (distancia solar en perihelio, radio polar, orientación del meridiano) que no interesaría repetir de nuevo en el interior. Mucho más interesante para un astrónomo sería, en cambio, inscribir los valores de las masas de los astros principales (Tierra, Sol,

Luna) y sus elementos asociados (densidad, aceleración de la gravedad). La posibilidad de encontrar magnitudes de este género se ve aumentada por ser conocibles con un cierto margen de error.

Una constante geodésica de primera importancia y que presenta la característica de ser independiente de las unidades de medida es la *densidad de la Tierra*. Traduciendo la 1<sup>a</sup> Altura a unidades métricas egipcias ( $2c = 1,04793$ ) encontramos que su valor oscila entre

$$5,52 - 5,62;$$

la densidad de la Tierra, según datos modernos, corresponde al valor 5,52. La aproximación es excelente. pero más adelante vamos a ver que debíamos esperar un valor más aproximado. Es posible que el método de promedios empleado por Petrie para la determinación de esta altura de la cámara sea la causa de la ligera separación de valores. Quizás determinando máximos y mínimos el resultado corresponda mejor a la intención de los arquitectos.

En cuanto a la 2<sup>a</sup> Altura, dada la exactitud con que puede ser medida, debe ser interpretada en sentido geométrico — para ser consecuentes con la teoría que venimos desarrollando. Petrie ha observado que el rectángulo formado por las caras norte o sur de la cámara tiene un perímetro que, de acuerdo con sus medidas, oscila entre

$$3,1400 - 3,1404.$$

Según Petrie (8<sup>B</sup>), esta disposición remedaría la del exterior de la pirámide donde el perímetro de la base es igual a la longitud de la circunferencia dada por la altura de la pirámide. Aquí el perímetro del rectángulo sería igual al de la circunferencia cuyo radio queda indicado por el ancho de la cámara (5 metros). El valor de  $\pi$  encontrado en el exterior era, como vimos, el "primer valor de Arquímedes":

10

$3----- = 3,1428$ ; aquí, en cambio, encontramos el "segundo, valor de 10

70

10

Arquímedes":  $3----- = 3,1408$ . Nuestra indagación ha arribado a otro

71

punto interesante cual es permitirnos encontrar los dos valores "racionalizados" de  $\pi$  en la misma pirámide.

Corresponde ahora pasar al estudio del famoso y enigmático sarcófago de Kheops que ha merecido tantos y heterogéneos estudios y originado tantas polémicas (8), (13), (131), (98), (88). Con la experiencia ya adquirida en cuanto a las modalidades metrológicas de los antiguos egipcios nuestro trabajo se verá facilitado.

Comenzaremos con el volumen interior que nos daría el valor del metro cúbico egipcio si aceptáramos la existencia de un patrón de 1,056 m de longitud. Esta interpretación ya ha sido dada, pero Petrie la rechaza por considerar que ella correspondería a un codo de 0,528 m que es demasiado dilatado. En mi opinión, el volumen interior del sarcófago no es un patrón volumétrico sino un volumen determinado por dimensiones lineales internas establecidas *a priori*. Si aceptamos la hipótesis de que estas tres dimensiones internas corresponden a valores preestablecidos, difícilmente podría obtenerse un volumen dado exacto. Todo lo más que podría lograrse —con suficiente habilidad— sería la aproximación a un volumen unitario.

Cabe observar que el volumen interior ( $1,180 \text{ m}^3$ ) es, con error de 1 %, la mitad del volumen exterior ( $2,335 \text{ m}^3$ ). Se trata, evidentemente, de un resultado deliberado,

Petrie da para las dimensiones del sarcófago en metros\* (<sup>88</sup>) las siguientes:

TABLA V

<i>Interior</i>	mínimo —	a) 1,9827	b) 0,71997	c) 0,8311
	máximo —	a'') 2,0597	b'') 0,68097	c'') 0,8743
	promedio —	á) 2,0212	í) 0,70047	é) 0,8527
<i>Exterior</i>		a') 2,2763	b') 0,9779	c') 1,0493

Lo primero que debemos buscar —de acuerdo con nuestra experiencia— es el patrón de medida correspondiente a este sarcófago, que en este caso viene indicado por la altura exterior de 1,0493 m. Es, pues, el doble del Codo Real. Debe llamarnos la atención que sea un valor del codo ligeramente dilatado, pero, con todo, un valor aceptable.

Pasando al análisis de las dimensiones lineales internas se nos plantea el problema de la altura interior. Como puede verse en las Figs. 9 y 10, y constatarse en la Tabla "V", el sarcófago presenta un corte en una de sus caras longitudinales destinado al paso de la tapa corrediza. Como este corte, según las medidas de Petrie (<sup>88</sup>), tiene una profundidad de 0,432 m tenemos estos dos valores posibles para la altura interior:

$$C) = 0,8311 \text{ m} \quad -- \quad c'') = 0,8732 \text{ m}$$

¿Cuál de estas dos medidas corresponde a la verdadera altura interior? Puede plantearse la alternativa de que del mismo modo que interpretamos el desnivel del piso de la cámara como, indicando el signo matemático de indeterminación ( $\pm$ ), estas dos medidas puedan ser indicatorias del error aceptado.

---

\* Para la transformación de las medidas inglesas en las del sistema métrico decimal se emplea el factor 1' = 2,5400 cm.

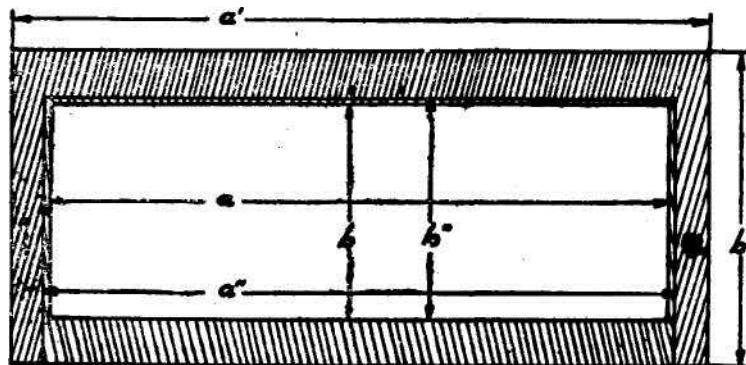


FIG. 9. Corte Horizontal del sarcófago de Kheops.

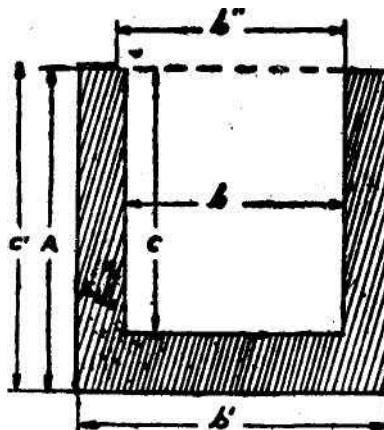


FIG. 10. Corte transversal del sarcófago de Kheops.

En tal caso, la cifra realmente indicada sería el promedio de las dos con un "error standard" fácilmente calculable que nos permitiría escribir

$$c = (0,8527 \pm 0,02) \text{ m},$$

que traducido a metros egipcios ( $1M = 1,0493$ ) nos da

$$c = (0,8126 \pm 0,02) M.$$

Esta cifra puede leerse 81.26 cm. De acuerdo con modernos datos astronómicos <sup>(9)</sup> la relación de masas entre la Tierra y la Luna (o sea el valor de la masa de la Luna astronómicamente entendido) viene expresada por el número 81,30. Esta nueva coincidencia es digna de ser tomada en cuenta.

A esta altura de nuestro análisis aparece con cierta necesidad lógica que las otras dos dimensiones internas del sarcófago habrán de corresponder a la masa del Sol y la masa de la Tierra. La cifra de la masa del Sol —según los más modernos valores <sup>(9)</sup>— es, con relación a la Tierra como unidad, igual a 333,1. De acuerdo con la Tabla V, el ancho del sarcófago nos da, como promedio, el valor 0,70047 que traducido a metros egipcios de 1,0493 m nos da el valor de ancho promedio:

$$b = \frac{0,70047}{1,0493} = 0,6675 M$$

Tomando la mitad de esta cifra podemos escribir

$$(333,7 \pm 1,0) M$$

que coincide con el valor de la masa solar.

La masa de la Tierra debe venir expresada en las unidades de peso correspondientes al Sistema Egipcio o Absoluto. El "gramo absoluto" es c6h relación al gramo corriente

$$1 G = 1,1507 g,$$

y teniendo en cuenta los más modernos valores para el peso de la Tierra (<sup>9</sup>) de  $5,977 \times 10^{27}$  g, encontramos

$$\begin{array}{r} 5,977 \\ \hline - & & = 5,194 G \\ 1,1507 \end{array}$$

como cifra representativa de la masa terrestre en el sistema egipcio o absoluto.

Para la longitud interior promedio del sarcófago, de acuerdo a la Tabla V, encontramos

$$\begin{array}{r} 2,0212 \\ a = \hline 1,0493 \end{array} = 1,926 M;$$

la inversa de este valor corresponde a

$$\begin{array}{r} 1 \quad 1 \\ -- = \hline a \quad 1,926 \end{array} = 5,192, \text{ que podemos escribir}$$

$$(5,192 = t 01) G$$

que coincide con el moderno valor 5,194 G para la masa de la Tierra.

Hay una cierta redundancia en anotar con cuatro cifras cantidades cuyo error admitido corresponde a la segunda, pero es llamativa la exactitud de loé promedios a pesar de la latitud de! error aceptado. Ello podría indicar que se trata de valores astronómicos determinados mediante un número elevadísimo de observaciones —prolongadas quizás durante milenios— pero realizadas con instrumental de reducida precisión. Es sabido que en la "Teoría de Errores" la multiplicación del número de observaciones reduce el valor de la "desviación standard" de modo que con un elevado error accidental es posible llegar a cifras muy exactas mediante el incremento del número de mediciones.

Quienes no estén familiarizados con las matemáticas egipcio-babilónicas podrán objetar el haber tomado el doble del valor de la masa solar o la inversa del valor del peso terrestre en lugar de las cantidades originales. Pero es fácil

convencerse de que si se hubiesen tomado las cifras naturales el resultado habría sido una estructura completamente diferente de un sarcófago de volúmenes unitarios.

En un trabajo anterior <sup>(1)</sup> he hecho un detenido estudio de esta cuestión por lo cual me limito aquí a dar las conclusiones de aquel análisis. Si el propósito de los antiguos constructores fue hacer un Atlas Astronómico que tuviera la forma de un sarcófago, hay que admirar el habiloso recurso de haber utilizado los ensanches y cortes requeridos para el deslizamiento de la tapa para ubicar con ellos los errores standard admitidos. No me compete dilucidar el problema político-religioso que puede haber determinado el camuflar un Atlas Astronómico de modo que parezca un sarcófago — esto corresponde a la investigación arqueológica; pero observando que el volumen interior es muy aproximado (3 % de error) al "metro cúbico absoluto" y que el volumen externo lo es de dos metros cúbicos absolutos (1 % de error) se comprende que la única manera de lograr estos volúmenes, estas dimensiones lineales y la forma obtenida sería mediante una cuidadosa ubicación de las dimensiones lineales.

En efecto, tomando la mitad y el doble de tres cantidades y sus inversas tenemos 18 cifras con las cuales podemos formar 816 combinaciones. Si añadimos la condición restrictiva de que cada combinación tenga los tres datos exigidos y que, además, cada combinación posea un solo dato multiplicado o dividido por dos el número de combinaciones se reduce a

$$6 \left( \frac{6 \times 5}{2} - 3 \right) - \left( 6 \times 4 - \frac{6 \times 4}{3} \right) = 56.$$

De estas 56 combinaciones sólo hay cuatro que nos dan valores próximos a la unidad de volumen; pero una de ellas tiene 3,33 metros de longitud; otra, 3,00 metros y la otra 0,30 metros de altura. Es obvio que la única que llena el requisito de parecerse a un sarcófago es la combinación elegida por los constructores. La elección de la forma y dimensiones es, entre todas las posibles, aquella que logra el resultado final con un mínimo de adulteración de las cifras.

Como nos quedan dos magnitudes por estudiar —largo y ancho exterior del sarcófago— debemos extremar nuestras exigencias lógicas estableciendo *a priori* cuáles deben ser las magnitudes que aparezcan allí. Por lo pronto, dichas dos magnitudes tendrán que estar vinculadas a las masas de los astros ya vistos, sea como densidades, sea como aceleraciones de la gravedad. Por tener sólo dos magnitudes disponibles debemos descartar la posibilidad de ubicar allí la aceleración de la gravedad en el Sol, la Luna y la Tierra. Nos quedan para su posible ubicación la densidad del Sol y la densidad de la Luna —pues ya hemos encontrado la densidad de la Tierra en la altura de la cámara.

Otras dos cantidades que podrían ubicarse allí serían la aceleración de la gravedad en el polo y el ecuador terrestres. En contraste con la densidad de la Luna y el Sol —dos magnitudes carentes de importancia astronómica— las aceleraciones de la gravedad en el polo y el ecuador representan dos magnitudes de importancia técnica y científica. Ningún físico ni astrónomo

dudaría en elegirlas para su representación como testimonio científico.

Pero el cálculo de una aceleración implica el conocimiento de una unidad que hasta ahora no nos ha ocupado cual es la unidad de tiempo. No creo que los antiguos astrónomos hubieran elegido el segundo como unidad de tiempo —tampoco lo hubiera hecho ningún astrónomo moderno. En cambio «el empleo del año como unidad de tiempo parece natural y necesario. Por otra parte, el coeficiente de transformación para pasar del segundo al año, en el cálculo de la aceleración, es un valor muy próximo á la unidad:

$$1 \text{ año}^2 = (365,2422 \times 24 \times 60 \times 60)^2 = 9,958 \times 10^{14} \text{ segundos}^2$$

Las dimensiones dadas por Petrie (<sup>M</sup>) para el largo y ancho exterior del sarcófago son

$$2,2763 \text{ m} \times 0,9779 \text{ m} = 2,226 \text{ m}^2. \quad (1)$$

Para establecer la comparación entre los valores egipcios y los nuestros podemos proceder de dos maneras: Transformar nuestros valores modernos para la aceleración en valores absolutos (metro absoluto y año) o, viceversa, transformar los valores egipcios en nuestros valores corrientes (metro y segundo). Procederemos de la segunda manera.

Observando el valor del ancho (0,9779 m) no tenemos necesidad de pasar a metros egipcios para volver después a metros modernos sino que podemos tomar este ancho directamente en metros modernos. Evitamos así la ambigüedad de la elección de unidades. Para establecer la comparación sólo tenemos que transformar las unidades de tiempo y tendremos:

$$\frac{9,779}{0,9958} = 9,823;$$

el valor de la aceleración de la gravedad en el polo es estimado, con los mejores datos modernos (<sup>9</sup>), en

$$\gamma_0 = 9,83 \text{ m/seg}^2;$$

la coincidencia es, pues, total.

En cuanto al valor del largo (2,2763 m) observando el producto <sup>(1)</sup> y recordando operaciones que ya efectuamos con las magnitudes del sarcófago de Sekhem-Khet, vemos que el valor de la longitud es muy próximo al doble de la inversa del ancho. Pasando a metros egipcios de 1,0493 escribiremos:

$$\frac{2}{2,1693} = 0,92194$$

como la cifra indicativa de la aceleración ecuatorial en metros absolutos y año. Para pasar a nuestras unidades modernas utilizaremos el valor métrico (1,0493) hasta aquí empleado y tendremos:

$$\frac{9,2194 \times 1,0493}{0,9958} = 9,72$$

El valor de la aceleración ecuatorial se estima actualmente (<sup>9</sup>) como:

$$\gamma_0 = 9,78 \text{ m/seg}^2;$$

debemos, pues, considerar el valor de la aceleración ecuatorial egipcia como muy reducido.

### Consideraciones Extemporáneas

Quizás sea demasiado apresurado sacar conclusiones aplicables a otras ciencias de los resultados obtenidos en nuestros análisis de la Gran Pirámide y de su Cámara del Rey. No debemos olvidar que estos estudios están recién en sus comienzos y sujetos, por tanto, a imprevisibles modificaciones. Pero la tentación de obtener alguna información sobre las características del Sistema Solar observables hace cinco mil años es demasiado fuerte para detener aquí estos análisis. Así, pues, con todos los recaudos necesarios, expongo la siguiente Tabla VI comparativa de los valores astronómicos y geodésicos obtenidos por la interpretación de la Gran Pirámide, y los correspondientes valores determinados por la ciencia moderna:

TABLA VI  
*Valores Astronómicos y Geodésicos*

	<i>Egipcios</i>	<i>Modernos</i>
1) Distancia al Sol en Perihelio (x 106 km)	146,60	148,97
2) Radio Polar (km)	6356,9	6356,9
3) Densidad de la Tierra	5,57 ?	5,52
4) Peso de la Tierra (g x 10 <sup>27</sup> )	5,977	5,975
5) Masa de la Luna (Mt/M.)	31,26	81,30
6) Masa del Sol (M <sub>s</sub> /M.)		333,1
7) Aceleración Polar de la Gravedad (m/seg?)	9,82	9,83
8) Aceleración Ecuatorial de la gravedad (m/seg <sup>2</sup> )	9,72	9,78
9) Azimuth Polo Geográfico (Oeste del Norte)	5' 31"	0' 00"
10) Azimuth Polo Magnético (?)	2' 29"	-----
11) Desnivel del suelo en Gizeh	8"	0"

Como observado anteriormente, faltan los valores de la excentricidad terrestre, o del diámetro de la eclíptica, pero el valor de perihelio que figura en

la' primera línea de la Tabla VI sugeriría que muy poca modificación ha sufrido el Sistema Solar en los últimos cinco mil años, ya que la diferencia observable entre la cifra antigua y la moderna es imputable a errores de los antiguos o los modernos astrónomos.

En cuanto a modificaciones geodésicas, ellas son más probables pues los datos presentan una cierta congruencia que las haría presumibles. Así, por ejemplo, el desnivel de 8" de la meseta de Gizeh conjuntamente con la desviación del polo en 5'31" mostrarían modificaciones geodésicas; conclusión que es robustecida por el aumento de la aceleración de la gravedad en el ecuador que podría atribuirse a una disminución de la velocidad de rotación de la Tierra de origen no aclarado (esta modificación puede deberse a un aumento del momento de inercia o a una disminución del momento angular).

## La Altura de la Pirámide

Cuando en la Parte II estudiamos los aspectos tecnológicos del tallado del revestimiento de mármol que otrora recubría la Gran Pirámide establecimos una comparación entre la "opera magna" de la moderna tecnología de precisión —el espejo del telescopio de Monte Palomar— y los 25.000 prismas ópticos de 16 toneladas. del recubrimiento, cada uno de los cuales representaba, por sí solo, una tarea de tallado óptico equivalente al pulido del famoso espejo.

Esta inmensa tarea de micrometría —de acuerdo a la exactitud de los planos de cada unidad y la ajustada correlación mutua observada por Petrie— debió producir cuatro espejos planos de precisión óptica de 1,7 hectáreas de superficie cada uno. Si tal obra no hubiera sido destruida la pirámide sería hoy un "instrumento, óptico" monumental —algo inimaginable aún para los ópticos de la Era Cósmica.

No pareció oportuno en aquella ocasión analizar la posible finalidad de una obra de tanto aliento, pero sí apareció claro que algún importante objetivo debió presidir la ejecución de una tarea que triplicó el costo total de la pirámide.

Después de lo ya visto sobre la significación metrológica de la pirámide y su vinculación a estructuras geodésicas y astronómicas resulta en cierto modo evidente que la altura de la pirámide no fue una magnitud cualquiera sino, precisamente, una longitud que en escala decimal representaba la distancia al Sol. Aceptada esta hipótesis, que los análisis anteriores hacen muy plausible, el minucioso esfuerzo de precisión que debió desarrollarse a todo lo largo y lo ancho del revestimiento se cristaliza en el único objetivo de la determinación, con la máxima exactitud posible, de la Unidad Fundamental de la astronomía que todavía hoy sigue siendo la distancia al Sol.

Perfectamente justificada, por nuestros modernos conceptos científicos, la hazaña tecnológica desarrollada por los antiguos se hace evidente que su correcta interpretación dependerá del ajuste entre los dos factores fundamentales involucrados en el problema: 1) La verdadera distancia al Sol;

## 2) La verdadera altura de la pirámide.

Respecto de lo primero convendrá recordar que existen tres -maneras de interpretar la "verdadera" distancia al Sol. Una de ellas corresponde a la *menor* distancia al Sol (perihelio); otra a la *mayor* distancia al Sol (afelio); la tercera es el *promedio* o sea el radio mayor de la elipse, llamado también la Unidad Astronómica. Ya habíamos visto que dada la equivalencia de las tres definiciones desde el punto de vista astronómico, razones constructivas hacían aconsejable indicar el valor de perihelio en la altura de la pirámide.

Las mediciones astronómicas más recientes corresponden a la aproximación de Eros (1 de enero de 1931) ocasión en que la moderna astronomía puso en juego todos sus recursos para la obtención de 2.800 placas fotográficas, producidas por 20 telescopios de diversos países, y el riguroso cálculo ortocromático de la luz de las estrellas ubicadas sobre la trayectoria del planetoide con objeto de obtener una precisa corrección de la refracción atmosférica. Diez años de cálculos permitieron hacia 1942 la obtención de la moderna cifra de  $149,670 \times 10^8$  km considerado hasta hace poco como el valor más probable ¿el promedio de la distancia al Sol.

Hacia el año 1959 Price y Gunn. utilizando el eco de Radar, determinaron la distancia a Venus lo que importó una corrección para la U. A. que Herrick, Westrom y Makemson <sup>(8)</sup> estimaron en

$$(149,470 \pm 0,001) \times 10^6 \text{ km};$$

considerándose en la actualidad que el método de microondas nos da valores más exactos que las determinaciones astronómicas.

En cuanto a valores más antiguos conviene mencionar el aceptado hacia el año 1900 que era de  $152,00 \times 10^8$  km y el utilizado hasta la víspera del acontecimiento de 1931 que era de  $149,43 \times 10^6$  km. Con el auxilio del valor de la excentricidad de la eclíptica ( $e = 0,0167$ ) podemos calcular los valores de perihelio que aparecen en la Tabla. VI.

En cuanto a la verdadera altura de la pirámide, ella ha sido calculada por Borohardt <sup>(14)</sup> y Colé <sup>(24)</sup> con el auxilio de la Survey of Egypt y estimada en 146,595 metros. Se basa este cálculo en el valor promedio de los cuatro lados de la pirámide y en la aceptación como pendiente de las caras de la pirámide del valor  $22/7 = \pi$  (primer número de Arquímedes).

La interpretación del autor para la altura de la pirámide difiere de la de Bcrhardt-Cole en sólo 3 mm. Acepta el valor de la pendiente correspondiente a  $22/7$ , pero utiliza el promedio de los tres lados Norte, Sud y Oeste que difiere en sólo 3 mm del valor del lado Oeste. En cuanto al lado Este ya habíamos visto (Cfr. La Mensuración, Parte II) que su inclinación permitía determinar el valor del "error" admitido por los constructores en su cálculo de la distancia al Sol. Este procedimiento, que nos es familiar después del estudio de la Cámara del Rey, nos permitió escribir para la longitud del lado de la base:  $L = (230,355 \text{ rfc } 0,100) \text{ m}$ , De aquí podemos calcular una altura de la pirámide que nos da para la distancia al Sol

$$R = (146,592 \pm 0,05) \times 10^8 \text{ km};$$

donde hay que destacar el exagerado valor del error aceptado que contrasta con los exiguos valores de la determinación con Radar. Es decir, la repetición de una situación que ya viéramos a propósito de los errores de masa admitidos para las determinaciones de la Cámara del Rey.

Como era de esperar, en la expresión de la distancia al Sol no olvidaron los antiguos astrónomos indicar el error probable. Y esto es muy importante pues "una medida tiene sentido sólo cuando se puede valorar de una u otra forma el error de que está efectuada".

Con esto queda suficientemente aclarado el misterioso objetivo perseguido con la extrema precisión del revestimiento de la Gran Pirámide; resta como problema resolver si aquellas antiguas medidas imponen una revisión de nuestros cálculos modernos o indican una modificación en las dimensiones de la eclíptica.

#### TABLA VI

##### Distancia al Sol (*perihelio*)

(km x 10<sup>6</sup>)

Año	1900—	149,46
	1930—	146,93
Año	1940—	147,17
Año	1960—	146.97
Egipto	—	146.60

Pero aparte del objetivo puramente científico de indicar la distancia al Sol con la máxima exactitud, también estuvo presente en la magna tarea una intención artística. Podemos convencernos sin más que imaginar la esplendorosa belleza de aquella gema, tallada en octaedro por un Titán, que fulguraba cual oro bruñido bajo los rayos del Sol.

¿Quienes más indicados que sus propios autores para describirla? El poeta-astrónomo la vio como "Teniendo la Gloria del Sol. y su luz como la más preciosa piedra tanto como una piedra de jaspe ciara como un cristal".

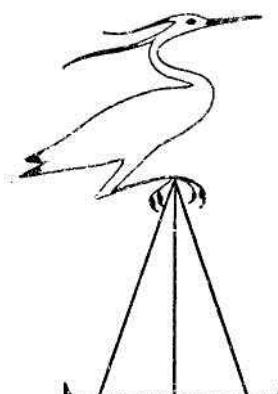


Fig. 11. *El Ave Fénix posándose en el Ben-Beu (de un grabado egipcio).*

## APÉNDICES

### I LA PIRÁMIDE DE KEFREN

Es poco lo que sabemos sobre la pirámide de Kefrén. Los autores antiguos casi; no aludieron a la segunda pirámide de Gizeh y los arqueólogos modernos le han prestado muy poca atención.

Heródoto dice en el capítulo dedicado a Euterpe dé su "Los nueve libros de la historia" que los sacerdotes egipcios "querían ignorar el nombre de los constructores de las pirámides" y por ello las designaban genéricamente como "las pirámides del pastor Filitis".

A pesar de esta aseveración, narra Heródoto la leyenda ;de Kheops, Kefrén y Micerino que habrían construido las tres pirámides sometiendo al pueblo a brutales sacrificios, llegando el primero de ellos hasta prostituir su hija para obtener fondos adicionales.

Estas referencias de Heródoto pueden considerarse como puramente legendarias ya. que no han tenido posterior confirmación arqueológica. Pareciera haber una confirmación histórica, pero la falta de inscripciones en las tres grandes pirámides de Gizeh deja en el aire la seguridad de que conozcamos sus autores.

Vale la pena, sin embargo, transcribir la cita de Heródoto en su breve mención de la pirámide de Kefrén.

"CXXVII. Muerto Kheops sucedióle en el trono su hermano Kefrén. Según decían los sacerdotes, Kheops duró en el reinado 50 años. Kefrén gobernó el país de la misma manera y con los mismos propósitos que su hermano y por ello se hizo una pirámide, en la parte inferior revestida de mármol etiópico, pero menor en 12 metros que la anterior; lo que sé por haberlas medido personalmente. Carece la pirámide de Kefrén de los edificios subterráneos de la otra, ni tampoco posee la isleta que riega un canal derivado del Nilo y en donde, según dicen, están enterrados los restos de Kheops. Las dos pirámides se hallan en una colina que tiene unos 30 metros de elevación. Kefrén reinó 55 años."

"CXXVIII. Sumados los años de ambos reinados dan los 105 años durante los cuales, refieren los egipcios, vivió el pueblo en total miseria, sin que en todo este tiempo se abrieran los templos una sola vez. Tanto es el odio que conservan contra estos reyes que no quieren ni acordarse de sus nombres y, por ello, al referirse a las pirámides los llaman pirámides del pastor Filitis, por ser éste el pastor que apacentaba sus ganados en el lugar donde se construyeron las pirámides."

Es importante hacer notar la afirmación de Heródoto de que la pirámide de Kefrén no tiene dispositivos subterráneos; ello es una prueba de que el acceso a la pirámide de Kheops estaba abierto en aquellos días, no estandolo, por consiguiente, el acceso a la de Kefrén. En cierto modo la situación se mantiene hoy en Egipto pues la entrada a la pirámide de Kheops es libre para todos los turistas,'no así a la pirámide de Kefrén —cerrada con reja y candado— y para cuya inspección se necesita autorización ministerial.

De cualquier manera que ello fuera, poco es lo que se aclara en referencia a la Segunda Pirámide a tenor de las descripciones de los historiadores clásicos. Quizás más ilustrativos sean en este aspecto los cronistas árabes. Respecto de la primera pirámide (Pirámide de Kheops—Pirámide Oriental—Gran Pirámide) dice el Akbar-Ezzeman (Bodleian Library—Oxford) : "En la pirámide oriental fueron inscriptas las esferas celestes y las cifras, representativas de las estrellas y los planetas". Otro importante manuscrito árabe (Macrisi) completa esta acotación con esta breve e importante referencia: "La primera pirámide fue consagrada a la astronomía y la historia; la segunda a la medicina".

Respecto de detalles constructivos, cabe observar que la Segunda Pirámide es de factura inferior a la de la Gran Pirámide. De ello resultó la parcial sobrevivencia, en la parte superior, del revestimiento calcáreo. Como es sabido, las tres grandes pirámides de Gizeh poseían cuatro caras especulares, formadas por cuñas de mármol insertadas sobre las gradas de granito de modo de formar una pared completamente lisa. Las pirámides presentan el aspecto adusto de nuestros días por haber sido arrancados los primitivos bloques del recubrimiento, que en el caso de las dos grandes pirámides de Gizeh pesaban unas dieciséis toneladas cada uno y totalizaban unos 25 mil bloques. Es del conocimiento de los arqueólogos (Petrie, Edwards, Clarke) que cada uno de estos bloques estaba tallado y pulido con arreglo a las más estrictas exigencias de la industria óptica moderna y que en el caso de la de Kheops cada uno de los 25 mil bloques era por sí mismo una obra de aliento semejante a la del espejo del telescopio de Monte Palomar (U.S.A.)?

En la pirámide de Kheops los pocos bloques conservados en su posición original se salvaron de su depredación por estar desde tiempo inmemorial sepultados bajo las dunas de la cara norte, lo que también los preservó de la erosión eólica pudiendo hoy ser objeto de estudio científico de alta precisión. En la pirámide de Kefrén los! bloques, que le dan su aspecto característico en la parte superior, se salvaron de ser convertidos en cal, precisamente por la mala construcción de esta pirámide cuyos bloques de pequeño peso no están ni siquiera imbricados unos con otros (como los huesos parietales, de modo que, en la "Galería Ascendente", la junta aparece como trazada por un lápiz de punta fina) lo que determinó derrumbamientos parciales de la edificación que impidieron subir para saquear los bloques de mármol.

Sin embargo, el basamento es de buena factura y lo mismo que en la de Kheops, está recortado en el mármol de la meseta.. Como estas partes del recuadro y pavimento exterior de la Segunda Pirámide se conservan en buen estado, se ha podido determinar la orientación azimutal al límite del segundo de arco. Petrie da los valores comparativos, para las pirámides de Kheops y

Kefrén, de los datos azimutales que pueden apreciarse en la TABLA II (pág. 84). En la citada tabla puede observarse que tanto la pirámide de Kheops como la de Kefrén se encuentran desviadas al Oeste del Norte en un ángulo de 5' 81" lo que implica que el error de replanteo de las dos pirámides es del orden del segundo de arco. Vale decir, esta parte de la tarea constructiva indica la posesión de instrumentos de precisión tan eficaces como los modernos. Un teodolito de geodesia da errores del orden del segundo que es necesario interpolar —con arreglo a la curva de Gauss— para la obtención de errores por debajo del segundo de arco. Sobre los teodolitos de agrimensura huelgan los comentarios. El paralelismo de estas dos direcciones es una prueba concreta del movimiento del polo. De no haber poseído nosotros la indicación de la pirámide de Kefrén, los arqueólogos hubieran atribuido el error de 5' 31", en la orientación del meridiano indicado por la pirámide de Kheops, a los "necesarios" errores de los antiguos constructores. Dado el extraordinario ajuste de los valores observados la hipótesis más aceptable es que esta antigua agrimensura se efectuara con dispositivos de microondas (Maser y sus equivalentes) (Cfs. "Goniometría" pág. 79 item Cfs. Apéndice: "Análisis estadístico de la goniometría egipcia").<sup>7</sup>

La entrada de la Segunda Pirámide se encuentra en la cara Norte, y al nivel de la arena del desierto en la actualidad. El acceso se efectúa por una galería estrecha por la que es necesario descender ayudándose con las manos. A la terminación del primer tramo se invierte el sentido de la galería que, sin dejar de descender, llega a la cámara de Belzoni así llamada por haber sido el arqueólogo italiano el primero en descender en época moderna. Una inscripción con alquitrán en la pared de la cámara testifica en italiano: "Yo Belzoni he sido el primer hombre que entró en esta cámara,

La reversión del segundo tramo de la galería de descenso presenta un cierto peligro pues es necesario descolgarse desde varios metros de altura. Es una pequeña trampa al uso de los antiguos constructores egipcios. En el interior de la cámara el aire es seco y la temperatura elevada, lo que prueba la excelente ventilación que esta pirámide —al igual que la de Kheops— posee.

Hacia el lado occidental de la cámara se encuentra el sarcófago, al que Belzoni encontró destapado, dispersas por la cámara los restos de su tapa. En ellos encontró Perring vestigios de resina de los primitivos sellos. Como en otros sarcófagos, la tapa se deslizaba sobre unas guías.

"Cuando visité esta pirámide en 1962 constaté que el sarcófago yacía arrumbado al lado de un foso cavado en el piso de la cámara. La explicación de este desorden es que primitivamente el sarcófago estuvo enterrado al nivel del suelo de la cámara y los arqueólogos lo desenterraron en la búsqueda de tesoros que pudiera haber bajo él. Es lamentable tal falta de respeto por estas antiquísimas y valiosas estructuras, inexplicable en hombres dedicados al estudio de la arqueología. A este respecto es oportuno recordar que cuando Petrie levantó con grúas —para estudios metrológicos— el sarcófago de Kheops, marcó con tiza la posición primitiva (<sup>88</sup>) a fin devolverlo a colocar en su lugar exacto.

Las dimensiones exteriores de la pirámide de Kefrén (<sup>88</sup>) son en metros

egipcios (= Metro Absoluto):

Altura	136,69
Base	205,62
Ángulo	53' 10'

Las medidas de la Cámara de Belzoni en Codos Egipcios:

1ª Longitud	20,00
2ª Longitud	7,00
Ancho	9,50
1ª Altura	10,00
2ª Altura	12,00

Estas son medidas al milímetro de error y, como puede verse, son "números redondos". Las dos alturas se refieren a que la cámara tiene el techo de dos aguas.

Las siguientes son las medidas interiores del sarcófago en Codos Egipcios:

Largo	4,0000
Ancho	1,2600
Alto	1,3969

La gran precisión de estas medidas se debe a la exactitud del pulido de este sarcófago que conjuntamente con el de Illahum es una muestra del tallado de precisión egipcio que llegaba al normalizado de nuestras modernas normas ópticas.

Así como el Capítulo xxi del Apocalipsis está dedicado a la interpretación metrológica de la Gran Pirámide, el Capítulo XI se refiere a la Pirámide de Kefrén. Por el momento —dados los escasos conocimientos biológicos alcanzados por nuestra civilización— el citado texto del Apocalipsis nos resulta impenetrable, por lo cual me limitaré a citar la parte metrológica que, como el lector podrá verificar, guarda estrecha relación con el Capítulo xxi donde también hay alusión al Metro Absoluto ("medida de una caña de oro para medir la ciudad, y sus puertas, y su muro. Comienza así:

- 1) "Y me fue dada una caña semejante a una vara, y se me dijo: Levántate y mide el templo de Dios, y el altar, y a los que adoran en él".
- 2) Y echa fuera el patio que está fuera del templo, y no lo midas, porque es dado a los gentiles, y hollarán la ciudad santa cuarenta y dos meses.
- 3) Y daré a mis dos testigos, y ellos profetizarán por mil doscientos y sesenta días, vestidos de sacos."

Comenzaré por observar que la interpretación de este capítulo está recién en sus comienzos de modo que no podremos hacer una aclaración tan completa como la que logramos para el Capítulo XXI; el cual ha sido

interpretado en su totalidad con perfecta congruencia y claridad. Aquí lo más que podemos hacer es algún ensayo de interpretación sobre la base de las hipótesis de que, efectivamente, está esta pirámide dedicada a la medicina, y que el Capítulo XI del Apocalipsis se refiere a ella.

Él que trabaja en la interpretación de un texto antiguo debe hacer toda clase de hipótesis y someterlas a las pruebas de congruencia.

Lógicamente quien realiza la tarea tiene la ventaja de estar más familiarizado con la misma, pero, a su vez, corre el riesgo de dejarse llevar demasiado lejos por el entusiasmo de sus propias interpretaciones. Por ello, quiero subrayar, no comprometo en esta interpretación mi opinión personal sino que simplemente realizo un ensayo que requerirá ulteriores y prolongados estudios; pero la importancia de la tarea no escapará a nadie que piense que habiéndose constatado la exactitud de la indicación de que la pirámide oriental estaba dedicada a la astronomía, hay una gran probabilidad de que, efectivamente, la occidental lo esté a la medicina. Más aún, si tenemos en cuenta el grado superlativo del desarrollo astronómico allí encontrado debemos pensar que una tal medicina estará muy por encima de todo lo que nosotros sabemos al respecto, dado el atraso de las ciencias biológicas desarrolladas por nuestra civilización. Queda así justificada la necesidad de este intento.

Con el objeto de subrayar la congruencia de la interpretación que aquí ofrezco, quiero recordar que hacia el año 1855 ya tenía realizada esta interpretación del Capítulo XI del Apocalipsis, y había deducido que, posiblemente, en las dimensiones del sarcófago de Kefrén estuviera inscripto el número 1260. El hecho de que el texto apocalíptico nos dé el número 1260 también en meses (cuarenta y dos meses = 1260 días) no hacía más que subrayar la importancia de este período de tiempo. Conocía además la incidencia vital de los ciclos de 3,5 y 6,5 años —subrayada por el gran biólogo Julián Huxley y considerada por él como uno de los misterios de la biología, ya que estos dos ciclos regulan la evolución de la vida sobre la Tierra. Según el citado autor, estos ciclos fueron obtenidos de diversos análisis estadísticos relacionados con fenómenos biológicos y, particularmente, de las estadísticas de la "Compañía de Pieles del Canadá" que tiene archivos de varios siglos, donde se registra la cantidad de pieles de cada año. Desde ya, de las estadísticas de la citada compañía se desprendía la incidencia del conocido "Ciclo de Wolf" de las manchas solares, de una duración de once años. Pero los otros dos ciclos —que rigen desde las migraciones del "lemín" y otros roedores hasta las migraciones de peces y aves, y desde la producción agrícola-ganadera hasta la recurrencia de las epidemias— constituyen un absoluto misterio en cuanto a su origen y en cuanto a su significación.

De todas maneras, un ciclo de 1260 días está muy próximo a un ciclo de 3,5 años (exactamente 3,46 años) y podría verse en esto la relación entre la pirámide de Kefrén y la medicina. En tal caso, se trataría de ciclos de importancia para la salud humana. Tal vez, ajustándose a ellos se podría obtener la salud y la longevidad.

Dada la importancia de la cuestión, escribí a funcionarios del gobierno egipcio una carta redactada en árabe por el profesor Guraieb, solicitando datos

sobre esta segunda pirámide. Los citados funcionarios no contestaron la carta.

Después pude constatar personalmente en Egipto que el tema de las pirámides no interesa allí a nadie y que, inclusive, la mayoría de los habitantes de El Cairo no han visitado nunca las pirámides. Era lógico que no hubiera contestación; pero había otro factor adicional que dificultaba la respuesta a mi solicitud y era que los arqueólogos de El Cairo desconocían las dimensiones del sarcófago de Kefrén.

Por este motivo me vi obligado a obtener estos datos personalmente, lo que me obligó a movilizar la pesada burocracia egipcia cuyas ramificaciones llegaban hasta la vera de la pirámide pues, lo que nunca hubiera imaginado, la última firma del largo legajo hubo de ponerla un policía que apareció detrás de una duna, portando una metralleta, y que estampó su rúbrica, y puso un sello utilizando un lápiz de tinta y saliva. Habían montado una oficina pública en mitad de la arena.

Sería largo enumerar las etapas de esta pesada tarea de obtener permiso para el descenso, pero durante su' lento trámite ("dentro de un momento" podía significar tres horas de espera) pensaba que, posiblemente, la pasión burocrática de los egipcios modernos bien podría ser un resto de los antiguos sistemas imperiales. Por lo menos, la sonrisa afable del hijo de un guía en Sakkara era inequívocamente la del modelo de algún friso antiquísimo. No todo se perdió en Egipto, y los modales elegantes del arqueólogo Mohamed Saber, o el gesto señorial del Sheik de la Gran Pirámide, o el simple saludo de algún camellero, todavía trasuntan la nostalgia de un pasado imperial.

Con ayuda de dos guías —uno, Ahmed, que ya había aprendido el arte de medir paredes y sarcófagos, y otro que tenía la llave del candado de la pirámide— realicé una exhaustiva y cuidadosa medición de las dimensiones de la cámara y del sarcófago del supuesto Kefrén.

Salí a la superficie y me despedí de los guías —no sin antes darles la correspondiente propina que ellos repartirían después comunitariamente—. Antes de tomar el autobús 8 ("tamanía") que me conduciría en diez minutos a Midan el Taharir (en el centro de El Cairo) pude observar que en el interior de la pirámide hacía el mismo calor que afuera. Ello implicaba un especial sistema de ventilación ya que la cámara estaba en la más absoluta oscuridad. Eran las dos de la tarde y el termómetro marcaba 48 grados, una temperatura normal para esa hora del mes de junio. Penetré en el bar del Nile Hilton Hotel —con aire acondicionado— y delante de un enorme vaso de jugo de frutilla bien helado me dispuse a trasformar mis medidas, tomadas con nuestro metro convencional, en las medidas del Metro Absoluto o egipcio. Recuerdo que cuando saqué la cifra 1260 me quedé sorprendido de la exactitud de mis deducciones de cinco años antes en Córdoba, a 20 mil kilómetros de distancia. Estaba claro, también, el por qué no había que tomar en cuenta las estructuras exteriores; simplemente porque el sarcófago estuvo enterrado en el pavimento.

Unos meses después, en París, pude obtener las medidas efectuadas por Petrie con instrumentos de precisión en esta misma pirámide. Con un mayor

número de cifras pude encontrar que el valor exacto del ancho del sarcófago era de 1260,0 milímetros egipcios.

Desde entonces hasta ahora he meditado y tratado de desentrañar qué relación hay entre todas estas cosas y qué extrañas prácticas de "yoga" están simbolizadas en ese misterioso Capítulo XI del Apocalipsis. Viene hasta mí el recuerdo de aquel versículo que dice: "Y los de los linajes, y de los pueblos, y de las lenguas, y de los Gentiles, verán los cuerpos de ellos por tres días y medio y no permitirán que sus cuerpos sean puestos en sepulcros." Aquí los 3,5 días ¿podrán ser tres años y medio? Hay otro versículo que dice: "...un tiempo, tiempo y medio tiempo" o sea, tres tiempos y medio. ¿Podrá existir alguna relación con los 42 meses?

No podemos seguir adelante por el Apocalipsis ni por la pirámide de Kefrén. Prefiero saltar a la pirámide de Horus Sekhem-Het (en Sakkara) en donde el estudio metrológico de las estructuras reveló tres veces la presencia del número 2373. En el Capítulo "Las relaciones no-homogéneas" (pág. 137) nos hemos ocupado de la metrología de esta pirámide y vimos que tal número aparece en las dimensiones de la cámara y en el interior y exterior del sarcófago.

En dicho capítulo no quise adelantar una hipótesis sobre este misterioso número —dado que allí me he ocupado con concretas cuestiones metrológicas. Pero en nuestra tentativa de penetrar este inquietante arcano de la sabiduría antigua, descubrimos que:

$$6,5 \text{ años} = 2373 \text{ días}$$

El ajuste de las tres estructuras va más allá del límite de error. Hay algo de coincidencia. Pero los números están con todas sus cifras. Esa otra pirámide con su sarcófago, tampoco ocupado por ningún faraón, nos muestra de nuevo un sedimento metrológico muy importante porque este número expresado como "dos mil y trescientos dia3 de tarde y de mañana" (Daniel VIII-14) es el ciclo biológico, anotado por Huxley, de 6,5 años.

A mayor abundamiento podemos recordar el número 2340 (234) que aparece obsesivamente en el dimensionamiento del sarcófago de Diódefre (Cfs. "El Problema de Diódefre" pág. 118) como único número para todas sus dimensiones lineales y de volumen.

No podemos hacer más inferencias hasta tanto el progreso de "nuestra biología pueda decírnos algo más de los misteriosos ciclos de 3,5 y 6,5 años. Mientras tanto es importante destacar que estos ciclos ya eran del conocimiento de los antiguos como lo atestiguan la Biblia y las Pirámides. No tiene ello nada de extraño. Colocándonos en la posición más escéptica, es obvio que hombres que tuvieron burocráticos archivos que cubrían varios milenios, pudieran tener conocimiento de cosas que nuestra incipiente civilización recién comienza a descubrir. Redondeado el ciclo de 6.5 años, se convierte en el, antiguo, conocido y misterioso ciclo de las 7 vacas gordas y las 7 vacas flacas del sueño del Faraón, que interpretó José como un ciclo de lluvias y sequías de siete y siete años. En el citado Cap. XI del Apocalipsis leemos: "Estos tienen potestad de cerrar el cielo, que no llueva en los días de

su profecía..." Nadie se sorprenderá de que lo que interpretó José en el 1600 antes de Cristo pueda aparecer indicado en alguna pirámide egipcia; tampoco de que vuelva a aparecer en el libro de Daniel. La interpretación del sueño del Faraón es una simple leyenda que recoge la Biblia, pero los archivaz que José —administrador de la corte— podía consultar cuantas veces quisiera, son una realidad histórica.

Es evidente que los utilizó para su plan de gobierno, pues no hay que pensar que este conocimiento milenario fuera aplicado únicamente a la determinación del almanaque egipcio, que Neugebauer considera obtenido de las estadísticas milenarias de las crecientes del Nilo.

Más fácil que obtener un almanaque en el cual la salida heliaca de Sirio aparece consignada con la exactitud de 365,25 días, es conocer los ciclos que automáticamente se desprenden de estos archivos.

Así se explica que el ciclo undecenal del Sol (Ciclo de Wolf) fuera del conocimiento de todos los pueblos antiguos que poseyeron una larga civilización, como los chinos y los egipcios. Debieron pasar tres mil años para que Galileo volviera a descubrir las manchas solares, pero los antiguos las conocían muy bien y todavía hoy los astrónomos utilizan los archivos chinos de manchas solares para extrapolar el ciclo de Wolf hacia la prehistoria. El número once está en la clave de todas las religiones antiguas. Los héroes solares lo llevan como una marca de natalicio. La magia y la religión popular lo han trasegado durante milenios. Pero nosotros recién lo redescubrimos en el Siglo XVI.

Un aspecto importante de la investigación biorrítmica moderna lo constituyen los trabajos que G. Piccardi\* realiza al frente del "Istituto di Fenomeni Fluttuanti" dependiente de 3a Universidad de Pírense. Como es sabido, Piccardi alcanzó renombre mundial al determinar la trayectoria de la Tierra en la Galaxia valiéndose de ensayos químicos de laboratorio. La forma nítida cómo en las estadísticas de Piccardi se refleja la actividad undecenal del ciclo solar mereció que los "Test Químicos" de Piccardi fueran incluidos en los programas geofísicos internacionales.

La revolución que Piccardi ha aportado a la serología y la hematología ha sido subrayada en recientes años por investigadores soviéticos y norteamericanos. Pero lo que hay que destacar aquí es que el "Fenómeno de Piccardi" nos permite seguir los ritmos del universo en una forma hasta ahora no lograda por ningún otro dispositivo de laboratorio.

En 1962 trabajando con el equipo científico del profesor Piccardi tuve ocasión de estudiar sus archivos en busca de la recurrencia de 3,5 y 6,5 años, pero no pudimos encontrar nada. En opinión del profesor- Piccardi, es posible que con la prolongación de las estadísticas aparezcan los citados y enigmáticos ciclos. Con observaciones que databan de apenas 18 años lo único que podía

---

\* Piccardi G. Rend. Acad. Naz. Lincei - 21. VIII, 84. 1956. Piccardi G. The Chemical Basis of Medical Climatology. New York, 1960.

destacarse era el ciclo de Wolf y la variación estacional con máximos y mínimos en Abril y Se-timbre este último ciclo debido, según Piccardi, a la posición de la Tierra en el Apex Solar.

Las observaciones de Piccardi lo han conducido a descubrir en la radiación natural del orden de 3.000 kilohertz el agente determinante de la "activación" del agua, un estado alotrópico del agua, responsable de los procesos biológicos observados por Piccardi. En el laboratorio de Elektrophysi-kalisches Institut de Munich, el profesor Konig investiga la influencia de éste y otros rangos de frecuencias sobre este tipo de fenómenos, en estrecha colaboración con el profesor Piccardi. Pero aquí también las estadísticas de tan de poco tiempo y no es posible aún hacer inferencias biorrítmicas. Se ha logrado, eso sí, confirmar la hipótesis del profesor Schuman de que la Tierra es un resonador para U.L.F. (ultra bajas frecuencias).

El conocimiento de los ritmos biológicos exige estadísticas de larga duración que todavía no poseemos. Con los años las tendremos, pero mientras tanto podemos tratar de aprovechar lo que nos legaron los egipcios, cuyos archivos —según el sacerdote de Sais citado por Platón en el Timeo— cubrían milenios. El enigma de la pirámide de Kefrén es un desafío para los científicos de nuestra era. Su solución cambiará el futuro de la raza humana.

## II ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA GONIOMETRIA EGIPCIA

### Estadística de las medidas

De acuerdo con los postulados de Gauss, el valor más probable de una serie de medidas es el promedio aritmético de dichas medidas; llamado también "media aritmética" ( $\bar{x}$ ) Por este motivo en toda medición física se toma como "mejor valor" el promedio de un número  $n$  de medidas. Estos promedios incluyen errores que también se distribuyen según una curva de Gauss. De este modo la "Teoría de Errores" debe considerarse un capítulo de la "teoría de muestras", en la ciencia estadística, donde se establece que: "la variancia de la media de las muestras está en relación a la variancia de la población ( $s^2$ ) como

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (1)$$

donde  $n$  es el número de elementos de la muestra.

Aplicada la fórmula (1) a la teoría de errores se concluye que aumentando indefinidamente el número de medidas ( $n$ ), puesto que  $s$  es independiente de  $n$ , el valor del "error standard" tiende a cero. De este modo se llegaría a la conclusión de que sería posible obtener medidas con cualquier grado de

exactitud, con independencia de los errores del instrumento, con sólo aumentar indefinidamente el número de lecturas.

En la práctica de la medida física no ocurre tal cosa y generalmente no se pasa de 10 a 12 lecturas de un instrumento para determinar el valor más probable de una medición, debido a que después de este límite el orden de los *errores accidentales* alcanza el nivel de los errores sistemáticos. Es por este motivo que toda medición física se escribe especificando el "error probable" pues como dice Balseiro\* "una medida física tiene sentido sólo cuando se puede valorar de una u otra forma el error de que está afectada". En cuanto a la determinación del número óptimo de medidas ( $n$ ) más allá del cual la incidencia de los errores sistemáticos hace superfluo el aumentar este número, es ello una materia de experiencia, determinada por la índole de la medición, la naturaleza de los instrumentos y la calidad del operador. La valoración exacta de estas influencias es, naturalmente, una cuestión de opinión personal del estatista. Por ello considero que un límite aceptable —aunque realmente exagerado— podría estar constituido por 26 lecturas de un instrumento— que es el valor de  $n$  que adoptaremos más adelante.

## Error de medidas de instrumentos no-ópticos

Para apreciar el error de medida de los antiguos instrumentos no-ópticos, disponemos de estudios basados en datos históricos y también de información reciente sobre estos instrumentos.

La información reciente se refiere a instrumentos todavía usados en agrimensura de poca precisión y que son las llamadas "escuadras de espejos" y "escuadras de pínulas". En estos instrumentos los visores son simples cerdas o hilos de Nylon (pínulas) y el error promedio de lectura puede apreciarse entre 15' y 20' de arco. También se conocen medidas comparativas efectuadas con la "ballestilla" (o "compás de Jacob"), que fue el antepasado del sextante, y con el cual los errores que se cometían, según Rey Pastor (<sup>109</sup>), eran del orden de 30'.

En cuanto a la información histórica, Kepler (<sup>52</sup>) era de opinión que Ptolomeo medía la posición de las estrellas con errores de 10'. Este mismo orden de error se observa en los catálogos árabes de estrellas (como el de Ulug Beg) y puede hacerse extensivo a las medidas de Hiparco.

La máxima precisión en astronomía no-óptica corresponde a las medidas de Ticho Brahe —con su enorme astrolabio de cuadrante mural de 5 metros de diámetro— y cuyo error promedio de determinación era, según Kepler (<sup>52</sup>), de 2'.

Para el análisis estadístico de esta información es fundamental establecer el error de medida del instrumento y los promedios de los errores de medida

---

\*

que surgen del estudio de los catálogos de estrellas confeccionados por aquellos astrónomos. Con los valores para  $n$  que hemos establecido y la fórmula (1) podemos establecer que el astrolabio de Ptolomeo media con errores de

$$s = o \sqrt{25} = 10' \times 5 = 50' .$$

Aplicando igual técnica a las mediciones de Ticho obtenemos como error de instrumento

$$s = 2' \times 5 = 10' ,$$

lo que indiscutiblemente representa un alarde en medidas de precisión no-ópticas. Vemos, de paso, que nuestras hipótesis representan un término medio pues al valor aparentemente aumentado de los errores de Ptolomeo debemos contraponer el valor aparentemente reducido de los errores de Ticho, todo lo cual muestra que nuestras hipótesis se mantienen en un límite aceptable.

## Error de medidas de instrumentos no-ópticos. II

Como quiera que en el estudio de los datos históricos nos movemos en un terreno inseguro —aparte de que no existe suficiente claridad sobre el significado exacto de los errores así analizados— se comprende que el camino más seguro para la determinación de los errores de instrumentos no-ópticos es efectuar experiencias directas son modelos que se asemejen a los utilizados por los antiguos astrónomos y agrimensores. Es lo que el autor realizó con la colaboración del profesor Sívori y un grupo de agrimensores en Arguello (Córdoba – Argentina) ( $65^\circ$  O.  $31^\circ$  S.) durante el año 1967.

Se confeccionó un astrolabio con una alidada de 1 metro y limbos de 40 cm de diámetro con divisiones en grados y provisto de nonius para la lectura del minuto. Las lecturas se hacían directamente sobre la escala en grados y además como control se hacía la determinación con el nonius. Se efectuó la determinación de la posición de diversas estrellas —preferiblemente las circumpolares alfa y beta centauro— y con estos datos se determinaron bases meridianas. Todas las observaciones fueron simultáneamente duplicadas con el auxilio de un teodolito Salmoraghi cuyo error probable era del orden de  $2''$ .

En total se hicieron 78 determinaciones de ángulos estelares correspondientes a 26 lecturas para cada uno. Con el auxilio de estos datos se determinaron 12 bases meridianas.

El análisis de los resultados llevó a las siguientes conclusiones con referencia a los errores aritméticos de las determinaciones de posición angular:

error de lectura       $7'$

error de mira	5'
errores no determinados	4'
error total de cada observación	16'

En la determinación de la bisectriz meridiana se computaron los errores siguientes:

error angular (3 lecturas)	48'
errores de verticalidad y horizontalidad	10'
errores no determinados	10'
<hr/>	
	error total 1° 08'

Como se puede observar, el error total de una base meridiana resulta, con este tipo de instrumental, en 4 veces el error de lectura.

## Error de una Base Meridiana Amojonada

La orientación de un edificio de acuerdo a datos prefijados es extremadamente dificultosa. De un modo general puede decirse que, por lo menos, el error de amojonamiento es del orden de los errores de lectura del instrumento. Son numerosos los factores incidentes y, para bases construidas desde largo tiempo, hay que añadir, el desplazamiento bajo la presión del edificio, la acción de los sismos y, para muy largos períodos, el desplazamiento secular de las referencias geodésicas (geográficas o magnéticas).

Es imposible determinar *a priori* este conjunto de alteraciones, por lo cual debe procederse con extrema prudencia en el análisis de antiguas estructuras.

El problema del establecimiento de las bases meridianas de los observatorios es sumamente difícil. En algunos casos se toman precauciones extremas, tales como hacer un encofrado de hierro para el cemento, pero aún así los errores suelen ser enormes.

Un caso interesante nos lo suministra la base meridiana del Observatorio de Uranienburg (Dinamarca) establecida por el propio Ticho Brahe y en donde las mediciones modernas han encontrado un error de 18' con relación al meridiano (77). En el caso del observatorio de París el error, según Moreux (77), es del mismo orden. En este último caso hay que tener en cuenta que para esa época ya se utilizaban instrumentos ópticos bastante precisos. En el caso de la base meridiana del observatorio de Ticho es difícil imputar la desviación exclusivamente a errores de la determinación del meridiano.

Utilizando nuestra información experimental y los análisis estadísticos anteriores, podemos calcular el error de determinación del meridiano en 4

veces el error promedio o sea, que, para el caso de Ticho Brahe, tendríamos un máximo de 8' de error. Los 18' de error de la base de Urianenburg muestran que hay, por lo menos, un valor igual de error debido a las dificultades de amojonamiento o su alteración posterior.

### Possible error instrumental egipcio. I

Consideremos la Tabla I de la desviación azimuthal en la orientación de algunas pirámides egipcias. Esta tabla corresponde al conjunto de medidas dadas por Zaba (134), Lauer (6ii), Borchardt (14), Colé (24) y Petrie (88), siendo de lamentar el poco número de valores de que podemos disponer.

**TABLA I**

#### *Desviación Azimuthal*

Zoser	3°	0'	0''	E
Meidum	0°	24'	25''	O
Romboidal	0°	9'	12''	O
Kheops	0°	5'	31''	O
Kefren	0°	5'	31''	O
Micerino	0°	14'	3''	O
Sahure	0°	1'	45''	O
Neferikare	0°	30'	0''	E
Niuserre	0°	0'	0''	

Si exceptuamos el error de orientación de la pirámide de Zoser, evidentemente fuera del agrupamiento de las otras medidas, el error medio aritmético corresponde a un promedio de 10'.

De acuerdo con las conclusiones de nuestros estudios anteriores podemos calcular el error instrumental como de

$$s = \sigma \frac{\sqrt{n-1}}{4} = 10' \times 5/4 = 12' .$$

O sea que, no teniendo en cuenta los errores de amojonamiento y deterioro —ni tampoco teniendo en cuenta el error sistemático de 5' 31" denunciado por las pirámides de Kheops y Kefren— el conjunto de ocho pirámides egipcias nos lleva a aceptar un error del instrumento de medidas de 12', manifiestamente inferior a los 16' de nuestras observaciones de Arguello, y a los 25' de Ptolomeo.

Del resultado anterior se puede concluir que los egipcios debieron no solamente poseer instrumentos de medición sino, inclusive, de cierta precisión. De un modo general no podría compararse la eficiencia egipcia ni siquiera con la del instrumento de Ticho Brahe, lo cual excluye la posibilidad del uso del instrumental extremadamente primitivo sugerido por Zaba para las mediciones

egipcias. Con mucha mayor razón debemos excluir los medios sugeridos por Edwards que son todavía menos efectivos.

### Possible error instrumental egipcio. II

Consideremos ahora la Tabla II de la desviación azimuthal de los elementos de las pirámides de Kheops y Kefrén dados por Petrie <sup>(88)</sup> y por Borchardt-Cole <sup>(14)</sup> <sup>(24)</sup> :

TABLA II

Kefrén		Kheops
Pasajes (Petrie)	Núcleo (Petrie)	5' 16"
5' 37"	Pasajes (Petrie)	5' 49"
Revestim. (Petrie) 5' 26"	Revestimiento Este (Cole)	5' 30"
Promedio 5' 31"	Promedio	5' 31"

La media aritmética de los errores de medida de los cinco Azimuths es de 9". Este solo hecho bastaría para que asignáramos al instrumento egipcio aquí empleado un error de este mismo orden desde que, como ya establecimos, el error adicional de amojonamiento es por sí solo del orden de los errores de medida. Además, como ya vimos, debemos tener en cuenta las numerosas causas de error que han incidido sobre estructuras construidas hace milenios, y lo primero que observamos es que la desviación de la media es menor en la pirámide de Kefrén que en la de Kheops (6" y 12" respectivamente). La posible explicación es que las diferencias deben atribuirse a la mayor incidencia de los sismos en la de Kheops que por ser una estructura hueca ha sufrido, más deterioro que la maciza de Kefrén. En efecto, como es dable constatar, todo el interior de la pirámide de Kheops ha sido afectado por los sismos que han deformado sus galerías, alterado las longitudes de sus cámaras y rajado todos los bloques del techo de la Cámara del Rey. Si se acepta esta conclusión —que el extremado mayor cuidado de la construcción de la de Kheops hace muy plausible— habría que aceptar que el error del instrumento egipcio estuvo por debajo de los 3 segundos (admitiendo este error para la disposición primitiva de los elementos en la pirámide de Kefrén).

Otra forma de interpretar estas medidas —con el objeto de detectar los posibles errores de instrumento —sería adoptar el criterio que anteriormente aplicamos para las otras orientaciones egipcias, es decir, escribir

$$s < \sigma \frac{\sqrt{n-1}}{4} = 9'' \times 5/4 = 11'' .$$

Es interesante destacar que para Petrie <sup>(88)</sup> —que estaba altamente familiarizado con la goniometría egipcia— el error instrumental de los constructores de la Gran Pirámide debió estar por debajo de los 12" de arco. En cuanto a la cota inferior que podemos aceptar para este límite, ella debe estar muy por debajo de este valor toda vez que a los errores de replanteo y

deformación por el tiempo debemos añadir los propios de la medición de Petrie y Colé. No es aventurado afirmar que el instrumento egipcio medía por debajo de los 5" de error.

Es posible todavía otra interpretación de las cifras de la Tabla II. Hay que tener en cuenta que el análisis anterior considera a las dos muestras (azimuths de Kheops y Kefrén) como pertenecientes a una misma población. Como quiera que se trata de dos estructuras separadas por más de un kilómetro deben, en realidad, ser tratadas como muestras de dos poblaciones independientes. Ahora bien, aún cuando introduzcamos la idea del azar en la compensación de las medidas, el hecho de que los promedios de las dos líneas meridianas indiquen exactamente el mismo azimuth (5' 31") implica que los instrumentos de medida debieron cometer errores por debajo de 0,1" —vale decir, en el mismo rango de nuestros mejores teodolitos de topografía. Siendo esta conclusión igualmente válida si consideramos que las dos líneas meridianas fueron determinadas con relación a las estrellas o una de ellas en referencia a la otra.

Del análisis anterior debemos concluir que los egipcios poseyeron instrumentos —cualquiera haya sido la naturaleza de los mismos— del mismo grado de precisión que los mejores teodolitos de la época presente.

### Possible error instrumental egipcio. III

Las estructuras de alta precisión egipcias corresponden al sarcófago de Kefrén, los sarcófagos de la familia de Lahun (XII Dinastía) —especialmente el de Sesostris II— y los 25.000 bloques del revestimiento calcáreo de la Gran Pirámide. La máxima precisión se logró sobre el sarcófago en granito rosa, pulido mate, de Sesostris II, que es del orden de la de los bloques de mármol del susodicho revestimiento. Esta precisión llega, según datos de Petrie C<sup>8</sup>) (30) (97) a un normalizado-tipo dentro de las siguientes especificaciones:

error de paralelismo de aristas : ± 0,03 mm/metro
curvatura de los planos 0,05 mm
error de los diedros 10"

Resulta sorprendente constatar que estas especificaciones corresponden a las mejores escuadras normalizadas que produce la industria moderna (Norma DIN 875) y por tanto se trata de óptica de la más alta precisión. Las especificaciones de la óptica comercial admiten tolerancias diez veces mayores.

Como nuestro propósito es determinar los errores y la naturaleza de los instrumentos empleados en la confección de estas obras, observaremos que la superficie total de estos "mármoles de ajuste" cubre unos 500.000 metros cuadrados, no pudiéndose considerar, por tanto, la aplicación de otro procedimiento para controlar la planitud de las caras que el uso de dispositivos

interferenciales.

La viabilidad constructiva de una obra semejante, dentro de las especificaciones anotadas, exige una precisión de los instrumentos de medida varias veces mayor que los valores del normalizado. Considerando un error instrumental de 5" nos encontraríamos dentro de muy estrechos límites para el control de una obra semejante. Pero éste es el alcance de nuestros mejores anteojos de autocolimación. Con menores alcances no hubieran podido aquellos constructores realizar una obra de la precisión anotada.

Cualquiera haya sido la técnica empleada por los topógrafos egipcios para la medida de los ángulos diedros y de los ángulos planos está fuera de duda que sus dispositivos trabajaban con la precisión de los mejores instrumentos de nuestros días. La hipótesis más plausible es que emplearon instrumentos ópticos. Admitir otra hipótesis sería aceptar la existencia de dominios de la Naturaleza de los cuales no tenemos conocimiento.

## Conclusión

La hipótesis que hace menos violencia a nuestro conocimiento científico actual es aceptar que los egipcios poseyeron instrumentos ópticos de alta precisión.

## III LOS TEOREMAS MÉTRICOS

Existen en la Física algunos conceptos a los cuales se dispensa una universal aceptación aun cuando los mismos no hayan sido nunca formulados explícitamente, ni tampoco analizados en la extensión que su importancia requiere.

Tal es el caso del "Principio de Homogeneidad" de las ecuaciones físicas y al que por su vinculación con los fundamentos de nuestro teorema debemos dedicar una previa atención; lo que por otra parte no estará de más en un tema por sí mismo demasiado importante. Este principio de homogeneidad dimensional que debemos creer originado en una proposición de Maxwell destinada a dar validez a las leyes físicas con cualquier sistema de unidades, es para P. W. Bridgman <sup>(1)</sup> sólo la consecuencia de atribuir a las fórmulas dimensionales una relación trascendental con los hechos de la Naturaleza; punto de vista que aun encontramos en autores como Stratton <sup>(2)</sup> cuando analiza las ventajas de una definición de carga eléctrica, pues de otro modo aparecerían en las fórmulas exponentes fraccionarios "que no tienen ninguna significación física".

Pero cabe preguntarse qué significación tendría el teorema  $\pi$  si esta prescripción de homogeneidad dimensional dejara de cumplirse. Precisamente con esta vista y para evitar "ciertas excepciones como las mencionadas por el profesor P. W. Bridgman, de Harvard" (3) es que Hill formula una condición adicional de homogeneidad dimensional. Pero si bien es cierto que un principio de homogeneidad dimensional generalizado aseguraría la universal validez del teorema  $n$  nos encontramos ya en un primer análisis con que dicho principio deberá necesariamente experimentar una restricción en cuanto el mismo trate de ser aplicado más allá de un esquema puramente formal, es decir a la formulación de las leyes naturales. En efecto ciertas proposiciones formuladas por Bond (4), Simonoff (8), Brown (6) y Duncanson (7) y que parten de considerar la constante gravitacional de la ley de Newton como una constante adimensional, añadidas a las observaciones que W. Wilson (\*) formula a las ideas de Brown (1) como asimismo a las ideas de Dingle permiten escribir para las dimensiones de una fuerza:

$$F = M^2 L^{-2} = L^4 T^{-4} = L^{-1} T^{-1} = L^{-2} = Q = LM T^{-2}$$

(siendo  $Q$  las dimensiones de una carga eléctrica) cuya sola exposición anula toda posibilidad de existencia a un principio de homogeneidad dimensional sin serias restricciones, siendo de hacer notar que la crítica científica no descartó en ningún momento la legalidad de las anteriores ideas.

Pero esto no fue nunca claramente entendido y así lo prueban las numerosas tentativas que desde el tiempo de Maxwell se han sucedido tendientes a eliminar la contradicción que suponía la existencia de dos dimensiones diferentes para una única unidad: la carga eléctrica. Podríamos resumir de la siguiente manera el estado actual de la cuestión:

"La expresión de las leyes naturales mediante un sistema de tres dimensiones ( $L-M-T$ ) es incompatible con la exigencia de homogeneidad dimensional".

¿Pero podría decirse que, como creyeron Duncanson, Giorgi y Dellinger, la introducción de una cuarta unidad ha resuelto el problema? En la actualidad los autores que siguen el sistema Giorgi dimensionan las magnitudes magnéticas de la manera que puede apreciarse en el cuadro siguiente:

Magnetic Pole Strength	Magnetic Moment	Magn. Polarisation
I volt second	volt second. metre	volt, second
II ampere. metre	ampere. square metre	sq. metre ampere
		metre

Hallen (10) se esfuerza en demostrar la inconsistencia de las unidades de la división I pero no arriba a ninguna conclusión convincente. El mismo hecho de la congruencia dimensional de entidades definidas en forma autónoma, es ya indicativo de que la dualidad no es producto de un criterio equívoco sino de

una modalidad intrínseca de las entidades electromagnéticas, pues si se hace el cociente de las dimensiones I por las II se obtiene el resultado uniforme:

$$\frac{QI}{QII} = \frac{\text{volt}}{\text{ampere}} \cdot \frac{\text{second}}{\text{metre}} = \frac{\text{kilogram. Metre}}{(\text{coulomb})^2}$$

que nos muestra que aquí el problema de la dualidad es de la misma naturaleza que aquel que se quiso resolver por la adición de la cuarta unidad, pues si dimensionamos la carga para el sistema de unidades m. k. s. encontramos que una definición electromagnética para 1 Newton de fuerza hace homogéneas las magnitudes del grupo I con las del grupo II. Para evitar el dualismo experimental de las dimensiones de la carga eléctrica hemos producido el dualismo formal de las magnitudes magnéticas. Nosotros creemos que solo es posible escapar a este círculo vicioso mediante una restricción a la validez de toda exigencia de homogeneidad dimensional, lo cual si se hubiera comprendido hace tiempo habría ahorrado muchos e inútiles esfuerzos.

Dentro del aspecto formal del Análisis Dimensional podemos también encontrar un caso, que para nuestros propósitos tiene especial significación, en el uso de una definición perfectamente operativa que se muestra a sí misma contraria al principio de homogeneidad dimensional. Es similar al ejemplo con que Wilson (») muestra cómo una longitud puede no tener dimensiones y que nosotros expondremos de la siguiente manera: Si tenemos una longitud L que medimos primeramente con una unidad desconocida y encontramos que su valor viene dado por X u y después midiéndola con una unidad convencional v encontramos que su valor es x v podemos determinar la longitud de la unidad desconocida mediante la relación:

$$1 u = \frac{x v}{X u} = \frac{l}{k} \quad (1)$$

donde k representa en este caso la constante del postulado de Bridgman para la relación entre las dos unidades de medida y por tanto un número adimensional. No creemos que haya que deducir de la (1), que una longitud no tiene dimensión sino convenir en escribir de esa manera la longitud de una unidad de medida obtenida como cociente de dos magnitudes de la misma especie.

Podemos ya pasar al análisis y aplicaciones de

## UN NUEVO TEOREMA DE ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SUS APLICACIONES

## Aplicación geodésica

El objeto del presente trabajo es proveer un método para la obtención de unidades o patrones de medida que vaya más allá del sistema corriente de definir una unidad cualquiera sobre una base puramente convencional. El procedimiento consiste en establecer entre dos magnitudes consideradas de particular importancia una doble relación no reducible linealmente que determina únicamente una unidad de medida. En la práctica el método se muestra dotado de propiedades que llevan sus convenciones a una generalidad universal y sus medidas a un grado de reproductibilidad no sospechado hasta ahora para ningún sistema de unidades.

Si entre dos magnitudes diferentes de la misma especie establecemos las siguientes relaciones:

$$(k x_2 v)^a = \beta (k_1 x_1 v)^{a+n} \\ k = k_1 \quad (2)$$

(donde  $a, n, \beta$  son constantes diferentes de 0 ó  $\infty$ ;  $x_1$  y  $x_2$  son los números de medida de las magnitudes respectivas;  $k$  y  $k_1$  cantidades desconocidas y  $v$  representa la unidad de medida en un sistema convencional) tendremos una unidad de medida definida únicamente.

$$1 u = \frac{\beta^{1/n} (x_1)^{a/n+1}}{(x_2)^{a/n}} v = \frac{1}{k} \quad (3)$$

Se ve así que por las (3) las (2) son una definición perfectamente operativa que para el caso  $n=0$  representan el postulado de Bridgman de la "significación absoluta de la magnitud relativa". Si ahora establecemos el siguiente sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas;

$$(X_2 u)^a = \beta (X_1 u)^{a+n} \\ X_2 u = \alpha X_1 u \quad (4)$$

donde las  $X$  expresan números de medida en un sistema  $u$  determinado por las (4) y cuyo valor podemos obtener mediante el postulado de Bridgman:

$$X_2 v = \alpha X_1 v$$

(donde  $X$ , y  $X_2$ , son números de medida en un sistema convencional) de acuerdo con la (1) :

$$1 u = \frac{\beta^{1/n} (x_1)^{a/n+1}}{(x_2)^{a/n}} v = \frac{1}{k} \quad (5)$$

que es el mismo resultado que obtuvimos anteriormente (3) lo que indica que el postulado de Bridgman equivale a establecer que las dos magnitudes entre las que establecemos las relaciones (4), han de ser medidas con la misma unidad de medida. Esta es la prescripción contenida en el postulado la cual expresada explícitamente permite demostrar el postulado como un teorema, ya que otras prescripciones están, a nuestro juicio, contenidas tanto en (4) como en (2) ya que corresponden a las reglas usuales del álgebra y la geometría euclíadiana. Esto tiene importancia pues nos va a permitir expresar los principios del Análisis Dimensional en la forma compacta y con la economía de principios que puede observarse:

**PREScripción.** Toda comparación entre medidas de magnitudes de la misma especie ha de efectuarse siempre en base a números que expresen medidas en la misma unidad.

**Axioma 1:** Los números adimensionales que resultan de la comparación de magnitudes son independientes de la magnitud de la unidad de comparación.

**Teorema 1:** La comparación entre magnitudes de la misma especie permite siempre establecer la siguiente ecuación:

$$x_2 v = \alpha x_1 v$$

donde  $\alpha$  es independiente de la magnitud de las unidades de medida.

*Demostración:* El número  $\alpha$  es un número adimensional por ser las  $v$  de la misma especie y de igual magnitud por prescripción, luego de acuerdo con el axioma 1 es independiente de la unidad de medida.

**Teorema 2:** Una relación no homogénea entre dos magnitudes de la misma especie determina únicamente una unidad de medida.

*Demostración:* Si establecemos una relación no homogénea como la primera de las (4) siempre podremos establecer la segunda de acuerdo con el teorema 1 quedando entonces las  $X$ , y  $X_{ii}$  determinadas por un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas.

La existencia del teorema 2 no deja lugar para un principio de homogeneidad generalizado ni aun en el aspecto puramente formal del análisis.

Demostrado el teorema 2 que a los fines de su aplicación y también por su relación con el "teorema de Bridgman" llamaremos con el enunciado inverso simétrico de éste: "teorema de la significación relativa de la magnitud absoluta" corresponde observar que limitaremos su aplicación al caso  $a = n = \beta = 1$  para el cual el valor de las unidades "absolutas" viene dado por las siguientes fórmulas:

$$1 u = \frac{(x_1)^2}{x_2} v = \frac{x_1}{a} v = \frac{x_2}{a^2} v \quad (6)$$

(donde como antes las x expresan números de medida en las unidades v y a es la constante del teorema 1).

Con relación también a las aplicaciones daremos las fórmulas que para el caso de la comparación entre superficies esféricas surgen de las (6) :

$$R u = \frac{a^2}{2\sqrt{\pi}} u; r u = \frac{a}{2\sqrt{\pi}} u; n u = a \sqrt{\pi} u \quad (7)$$

donde  $\alpha$  es la relación entre los radios de las esferas y R, r y n representan respectivamente la longitud en unidades absolutas de los radios de las esferas mayor, menor y longitud del meridiano de la esfera menor.

Corresponde ahora a fin de dejar perfectamente aclarada la significación del teorema 2 hacer algunas aplicaciones del mismo. Consideremos en primer término el caso simple de un prisma de base cuadrada, determinado por un parámetro en base a la condición:

$$\frac{4 L}{2 R} = \pi \quad (8)$$

donde L es el lado de la base y R la altura del prisma. Si establecemos los Teoremas Métricos entre la superficie lateral y la superficie de la base en la siguiente forma:

$$8 L R u^2 = 16/\pi \cdot L^2 u^2$$

$$8 L R u^2 = (L^2 u^2)^2 \quad (9)$$

(donde las u representan las unidades de medida que llamamos absolutas). Por la aplicación de las (6) llegamos a las siguientes medidas para el prisma:

$$\begin{aligned} Lu &= 4/\sqrt{\pi} u \\ Ru &= 8/\pi^{3/2} u \\ RL &= 2/\pi \end{aligned} \quad (10)$$

La forma compacta de las expresiones (10) tiene sus ventajas y en el siguiente ejemplo tendremos oportunidad de aplicar este proceso por la relación entre la superficie del prisma y dos esferas, proceso al que llamaremos "racionalización". En efecto la superficie lateral del prisma es igual a la superficie de la hemisfera de radio igual a la altura del prisma y si hacemos que la superficie de la otra esfera sea igual a la superficie de la base tendremos las relaciones siguientes:

$$\begin{aligned} 4 \pi R^2 u^2 &= 16/\pi \cdot 4\pi r^2 u^2 \\ 4 \pi R^2 u^2 &= (4\pi r^2 u^2)^2 \end{aligned} \quad (11)$$

donde  $r$  representa el radio de la esfera menor. Por la aplicación de las (7) llegamos a los siguientes valores para las dos esferas:

$$\begin{aligned} R/r &= 4/\sqrt{\pi} \\ R u &= 8/\pi^{3/2} u \\ r u &= 2/\pi u \end{aligned} \quad (12)$$

Hemos elegido estos dos ejemplos de relacionamiento geométrico en base a los teoremas métricos pues los mismos se prestan para una aplicación geodésica ya que las dos esferas que aparecen asociadas al prisma tienen entre sí sus radios como puede verse en (12) en una relación muy aproximada (para los dígitos) a la que hay entre el radio ecuatorial terrestre y el radio de la órbita terrestre, dando ello lugar a que las cifras astronómicas y geodésicas puedan expresarse en la forma compacta que muestran las (12). Si establecemos ahora los Teoremas Métricos entre las dos esferas que indican la distancia al Sol y el radio terrestre modificado ligeramente para el valor de  $u = \sqrt{\pi} \cdot 10^4$  encontramos de acuerdo con las (7) que el valor del meridiano es:

$$2\pi r u = u\sqrt{\pi} u = 4 \cdot 10^4 u$$

es decir que la unidad absoluta es exactamente:

"La diezmilésima parte de un cuadrante del meridiano terrestre".

Es una coincidencia llamativa que mediante la aplicación de los Teoremas Métricos hayamos llegado exactamente a la convención de Delambre (12). Podemos subrayar la coincidencia, pues la pequeña corrección introducida en la definición de radio terrestre sólo ha servido para mejorar la convención de Delambre en dos puntos defectuosos: 1) Posibilidad de obtención de una unidad absolutamente re-productible; ya que mediante la convención esférica queda la longitud del meridiano referido al radio polar. 2) Mejora en el carácter de la definición de globo terráqueo ya que es elemental que nuestro globo incluye también una atmósfera para la cual el valor de 300 Kmtr. es aceptable.

La convención de Delambre mejorada mediante la aplicación de los Teoremas Métricos pierde en gran parte su carácter convencional ya que como veremos no se trata de un hecho aislado de aplicación exclusivamente geodésica, sino que es general para todos los astros del sistema solar y satélites con respecto a su astro central. De tal modo podemos decir que la

convención de Delambre es una convención del universo.

Con respecto a nuestro planeta la aplicación de los Teoremas Métricos y su racionalización con relación al prisma nos proporciona las siguientes medidas en lo que llamaremos Kilómetro Absoluto.

$R = 8/\pi^{3/2}$	.	$10^8$ KM. (Unidad Astronómica)
$r = 2/\pi$	.	$10^4$ „ (Radio Esfera Terrestre)
$N = 16/\pi$	.	$10^8$ „ (Meridiano Esfera Solar)
$n = 4.000$	.	$10^4$ „ (Meridiano Esfera Terrestre)
$S = (16/\pi)^2$	.	$10^{16}$ KM <sup>2</sup> (Superficie Esfera Solar)
$s = 16/\pi$	.	$10^8$ „ (Superficie Esfera Terrestre)

#### IV LOS RAYOS CÓSMICOS EN LA INVESTIGACIÓN DE LAS PIRÁMIDES

La compleja realización de este proyecto, y su alto costo, muestran la importancia que hoy se atribuye en el mundo científico a la investigación de las pirámides.

La primera propuesta para la utilización de los Rayos Cósmicos en la investigación piramidal apareció el 19 de marzo de 1965 en la "Lawrence Radiation Laboratory Physics Note 544" bajo la firma del físico (Premio Nobel) profesor L. Alvarez. Esta proposición de Alvarez tenía como base la invención, realizada poco tiempo antes, por Pérez Méndez (Nucí. Instr. Meth. 1965) de una "cámara de chispas" (spark chamber) con un sistema de registro automático conectado a una computadora digital. Como lo consigna el propio Alvarez ("Search for Hidden Chambers in the Pyramids, Science," vol. 167 p. 832, 1970) esta invención de Pérez hizo factible el proyecto de una radiografía de las pirámides utilizando los Rayos Cósmicos. Esto se comprende fácilmente si se tiene en cuenta que en total se computó el pasaje de más de un millón de "muones" cósmicos, cada uno de los cuales estaba representado por un conjunto numeroso de números indicativos.

Como es sabido, los protones de alta energía que circulan el espacio al chocar en la atmósfera con las moléculas del aire generan una radiación penetrante ("dura") en la que los Mesones Mu, o "muones", constituyen el 75 % del total de la radiación cósmica que llega a la superficie de la Tierra. Esta radiación penetra centenares de metros de roca y por ello es posible utilizarla para la obtención de una "radiografía de las pirámides".

En una radiografía corriente hecha con Rayos X, se tiene una fuente única de rayos, de modo que los puntos claros y oscuros de la placa radiográfica son la indicación unívoca de una traza de los elementos de cualquier objeto considerado (el cuerpo humano por ejemplo). En el caso de la radiografía con

Rayos Cósmicos se presenta la dificultad de que estos rayos aparecen viniendo de todas las direcciones del espacio. De ahí la necesidad de superponer varias cámaras de registro que permitan determinar la dirección y trayectoria de los "muones". Lo que se logra mediante la superposición de dos cámaras de chispas intercaladas entre tres *cámaras de destellos* (scintillation chambers) que disparan los registradores de las cámaras de chispas. Había, además, una computadora encargada de los registros.

Los datos comenzaron a ser procesados con la computadora IBM 1130 de la "Universidad de Eim Shams" (El Cairo) y la tarea fue finalizada con la CDC 6600 del Lawrence Radiation Laboratory (Berkeléy).

El desarrollo del proyecto costó alrededor de trescientos mil dólares, gran parte de los cuales fueron obtenidos de la U. S. Atomic Energy Commission gracias al apoyo incondicional del Dr. Glenn T. Seaborg. El resto fue sufragado por la R. A. U. y la Smithsonian Institution. Un total de cincuenta científicos árabes y estadounidenses intervinieron en el proyecto.

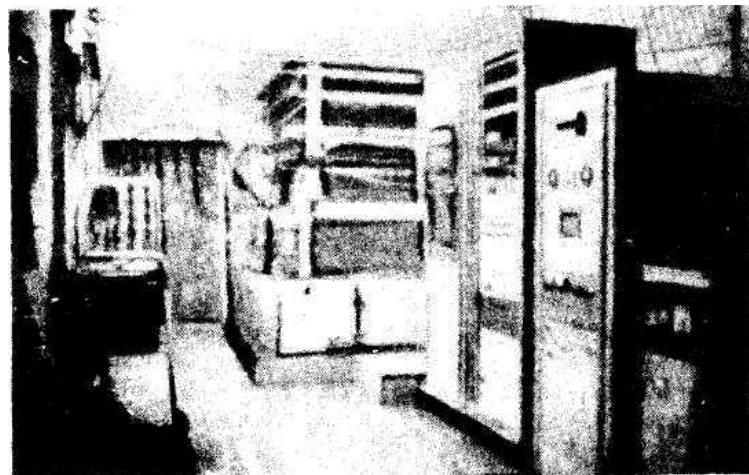
El método de Álvarez ofrece importantes perspectivas para el futuro de la exploración arqueológica, en cuya tarea ya se aplican diversos métodos físicos tales como la datación con Carbono Radiactivo, la determinación de la conductividad eléctrica del suelo —que ha permitido descubrir numerosas tumbas de la civilización etrusca— etcétera.

En Egipto se conocen pirámides macizas, como la de El Kola, Nagada, etc., que no tienen galerías ni siquiera en el subsuelo, que es el caso de la pirámide de Kefrén. Estas pirámides macizas han sido hasta ahora un misterio arqueológico, pero el método de Álvarez de exploración piramidal permitirá develarlo. Lo mismo puede decirse de las pirámides mexicanas de las que hasta ahora tan sólo una ha mostrado la presencia de galerías (Pirámide de Palenque).

En cuanto a los resultados obtenidos hasta ahora en el estudio con rayos cósmicos de las pirámides, puede afirmarse que la pirámide de Kefrén es maciza, sin galerías interiores a su estructura; lo cual la coloca en oposición a la pirámide de Kheops que tiene cámaras y galerías numerosas en su interior.

Sin embargo la operación en la pirámide de Kefrén no está terminada. Como se consigna en el número de febrero 1970 de "Science" (publicación de la "American Association for the Advancement of Science") queda aún un 70 % por explorar antes de que pueda darse un veredicto definitivo.

JOSÉ ÁLVAREZ LÓPEZ



## BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ LÓPEZ J.: *Física y Creacionismo*. La Plata, 1950.
2. ÁLVAREZ LÓPEZ J.: *The Principle of Variational Homogeneity*. Imprenta de la Universidad. Córdoba, 1957.
3. ÁLVAREZ LÓPEZ J.: *Relativistic Dimensional Analysis. I. E. A.* Córdoba, 1961.
4. *American Institute of Physics Handbook*. New York, 1957.
5. ANTONIADI E. M.: *L'Astronomie égyptienne*. París, 1934.
6. ARISTÓTELES: *Metafísica*.
7. BABINI J.: *Arquímedes*. Buenos Aires, 1948.
8. BARNARD: *The Imaginary Metrological Signification of the Great Pyramid*. American Metrological Society, 1883.
9. BERMAN A. I.: *Astronáutica*. New York, 1961.
10. BLAMPAIR : *Outils de coupe et outils en ceramique*. París, 1960.
11. BORCHARDT, L.: *Z. A. S.* XXX p. 83, 1892.
12. BORCHARDT, L.: *Ein' altägyptisches instrument*. *Z. A. S.* XXXVII, p. 10, 1899.
13. BORCHARDT L.: *Gegen die Zahlenmystik an der grossen Pyramide bei Gise*. Berlín, 1922.

14. BORCHARDT L.: *Längen und Richtungen der vier Grundkanten der grossen Pyramide bei Gise. Beitrage zur Agyptischen Bauforschung und Altertumskunde.* Berlín, 1926.
15. BREASTED J. H.: *Le papirus d'Edwin Smith.*
16. BRIDGMAN P. W.: *Dimensional Analysis.* New Haven, 1933.
17. BRUINS E. M.: *Nouvelles découvertes sur les mathématiques babiloniennes.* París, 1952.
18. BUDGE: *The book of the opening the mouth (Books of Egypt and Chaldaea).* London, 1909.
19. BURNET J.: *Early greek phylosophy.* London, 1892.
20. CANALS FRAU S.: *Las civilizaciones prehispánicas de América.* Buenos Aires, 1955.
21. CANTOR M.: *Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik.* Leipzig, 1907.
22. CERNY: *Ancient egyptian religion.* London, 1951.
23. CLARKE S.: *Ancient egyptian masonry.* Oxford, 1930.
24. COLE J. H.: *The determination of the exact size and orientation of the Great Pyramid of Giza (Survey of Egipt, paper N. 39),* 1925.
25. CROUZET M.: *Histoire générale de la civilisation.* París, 1950.
26. DECOURDEMANCHE J .A.: *Ann. du Serv. des Ant. d'Egipte.* IV p. 251, 1911.
27. DIODORO SICULO. Libro I.
28. DUNHAM D.: *Building an Egyptian pyramid. Archeology.* IX p. 159, 1956.
29. DUNHAM AND YOUNG: *Iron in the IV Dinasty. J. Eg. Archeology.* XXVIII. p. 57, 1942.
30. EDWARDS I. E. S.: *The pyramids of Egypt.* London, 1961.
31. ELIADE M.: *Alchemistes et Forgerons.* París, 1956.
32. ELIADE M.: *Das Heilige und das Profane.* Hamburg, 1957.
33. ESTRABON: *Geographica.* Libro XVII.
34. FAKHRY A.: *The Pyramids.* Chicago, 1961.
35. FORGES: *Studies in ancient technology.* Leiden, 1955.
36. FREUD S.: *Totem et Tabou.*
37. GAMOW S.: *The birth and death of the Sun.* New York, 1954.
38. GOLLÁN J.: *La Alquimia.* Buenos Aires, 1956.
39. GONEIM Z.: *La nouvelle pyramid a degrés de Saqqarah. La Revue du Caire.* XXXIII p. 18, 1954.

40. GONEIM Z.: *The buried pyramid*. London, 1956.
41. GONEIM Z.: *Horus Sekhem-Khet*. Serv. des Ant. de l'Egipte. 1957.
42. GUNN T. E.: *Four geometrical problems from the Moscow mathematical papyrus*. Jour. Egipt. Arch. XV p. 9, 1929.
43. HEATH T. L.: *The works of Archimedes* (Dover).
44. HEIBERG J. L.: *Naturwissenschaft und Mathematik im klassischen Altertum*. München, 1925.
45. HEIBERG, J. L.: *Geometrical Solutions*. La Salle (III.), 1942.
46. HEIBERG J. L.: *Archimedes opera omnia*. Leipzig, 1881.
47. HERÓDOTO: Libro I.
48. HERÓDOTO. Libro II.
49. HONORE P.: *L'enigme du dieu blanche précolombien*. París, 1062.
50. HUTIN S.: *Les sociétés Secrètes*. París, 1952.
51. KEEF H.: *Agypten (Handbuch der Altertumswissenschaft)*. III. München, 1933.
52. KEPLER: *De Stella Martis*. Chap. VIII.
53. KOMAROV A. G.: *Priroda* 49, N. 2. p. 8, 1960.
54. KOZALI BEN-ABU MUST, YUSEF: Bodleian Library. Oxford.
55. KRICKERBERG W.: *Altmexikanische Kultur*. Berlín, 1956.
56. LANGE K.: *Des pyramids, des sphinx, des pharaons*. París, 1956.
57. LAPLACE P. S.: *Breve historia de la Astronomía*. Buenos Aires, 1951.
58. LARRAYA J. A. G.: *El libro de los muertos*. Barcelona, 1953.
59. LAUER J. P.: *La pyramide à dégrés*. El Cairo, 1939.
60. LAUER J. P.: *Les grandes pyramids étaient elles peintes?* El Cairo, 1953.
61. LAUER J. P.: *La revue du Caire* XXXIII, p. 81, 1954.
62. LAUER J. P.: *Historia N. 86*. 1954.
63. LAUER J. P.: *Le problème des pyramides d' Egypte*. Paris, 1956.
64. LAUER J. P.: *Evolution de la tombe royale égyptienne*. M.D.I.K. XV-1957.
65. LAUER J. P.: *Observations sur les pyramides*. El Cairo, 1960.
66. LAWRENCE D. H.: *Apocalipsis*.
67. LUCAS A.: *Were the Giza pyramids painted?* Antiquity XII, 1938.
68. LUCAS A.: *Ancient egyptians materials and industries*. London, 1948.
69. MANTELL: *Modern Electrochemistry*. New York, 1940.

70. MARKOWITZ U. S.: *Naval Obs.* Repr. XI p. 37, 1960.
71. MASPERO G.: *Ann. Serv.* VII. p. 257, 1906.
- 72 MASSOUDI: *Akbar-Ezzeman*. Bodleian Library, Oxford.
73. MEYER E.: *Aegyptische Chronologie*. Berlín, 1904.
74. MIELI A.: *Histoire des sciences*. París, 1935.
75. MIELI A.: *El Mundo Antiguo*. Buenos Aires, 1952.
76. MOHET A.: *Le Nil*. París, 1940,
77. MOPEUX Th.: *La science myst. des pharaons*. Paris, 1945.
78. MORLEY S. G.: *The ancient Maya*. Stanford Un. 1946.
79. MÜLLER W.: *Studenpyramiden in México und Kambodscha*. Paideuma VI, p. 473, 1958.
80. NEUGEBAUER O.: *Der Nilkalender*. Act. Or. XVII, p. 169.
81. NEUGEBAUER O.: *The exact sciences in antiquity*. Providence (RhI.) 1957.
82. NEWTON I.: *Óptica IV II* p. 106.
83. PARROT A.: *Ziggurats et Tour de Babel*. París, 1949.
84. PARROT A.: *Le Temple de Jérusalem*. París, 1960.
85. PAUWEIXS-BERGIER.: *La Matin des Magiciens*. Paris, 1960.
86. PEET T. E.: *Rhind Mathematical Papirus*. Liverpool, 1923.
87. PETRIE W. M. F.: *Inductive Metrology*. London, 1877.
88. PETRIE W. M. F.: *The pyramids and temples of Gizeh*. London, 1883.
89. PETRIE W. M. F.: *Hawara, Biahmu and Arsinoe*. London, 1889.
90. PETRIE W. M. F.: *Illahum. Kahum and Gurob*. London, 1889.
91. PETRIE W. M. F.: *Methods and aims of archeology*. London, 1904.
92. PETRIE W. M. F.: *Arts and crafts of ancient Egypt*. Edinburgh, 1909.
93. PETRIE W. M. F.: *Egypt and Israel*. London, 1911.
94. PETRIE W. M. F.: *Tools and weapons*. London, 1917.
95. PETRIE W. M. F.: *Ancient weights and measures*. London, 1926.
96. PETRIE W. M. F.: *Measures and weights*. London, 1934.
97. PETRIE W. M. F.: *Egyptian metrology*. J. E. A. XXIV p. 180, 1938.
98. PIAZZI SMYTH Ch.: *Life and works at the Great Pyramid*. Edinburgh, 1867.
99. PLATÓN: *Fedro*.
100. PLATÓN: *Teetetes*.

101. PLATÓN: *Protágoras*.
102. PLINIO: *Hist. Nat.* Libro XXXVI.
103. PLUTARCO: *Vidas Paralelas* (Marcelo).
104. POCHAN A.: *Observations relatives au revêtement des deux grandes pyramides de Giza*. B. I. d'E. XVI, 1934.
105. POCHAN A.: *Bull. Inst. D'E.* XXXV p. 377, 1954.
106. PRITCHARD J. B.: *Ancient Near East texts*. Princeton, 1955
107. REISNER G.: *Bull. M. F. A.* XV N. 89, 1917.
108. KEISNER G.: *The tomb of Hetepheres*. Cambridge (Mass), 1955.
109. REY PASTOR J.: *La ciencia y la técnica en el descubrimiento de América*. Buenos Aires, 1951.
111. RICKE H.: *La Revue du Caire*. XXXIII p. 130, 1954.
112. SARTON G.: *Introduction to the history of science*. 1931.
113. SAUNERON S.: *Les prêtres de l'ancienne Egypte*. Burges, 1957.
114. SAVER M.: *Giza Pyramids*. El Cairo, 1960.
115. SCHADE: *Arbeitsverfahren der Feinoptik*. Braunschweig, 1954.
116. SEGRÉ: *Studii italiani filosof. classica*. V. p. 93. Firénze, 1927.
117. SÉNECA: *Questiones*.
118. SINGER Ch.: *A History of Technology*. Oxford, 1958.
119. STRUB-ROESSLER: *Technische Rundschau*. October, 1952.
120. STRUVE W.: *Quellen und studien zur Geschichte der Mathematik*. IV, 1930.
121. TANNERY P.: *Sciences exactes dans l'antiquité*. París, 1912.
122. THUREAU-DANGIN: *Esquisse d'une histoire du système sexagesimal*. París, 1932.
123. THUREAU-DANGIN: *La mesure des volumes d'après une tablette inédite du British Museum*. Revue d'asiríología. XXXII. 5, 1935.
124. THUREAU-DANGIN: *Textes mathématiques babylonniens*. Leiden, 1938.
125. VAN EECHE P.: *Les œuvres complètes d'Archimedes*. Liege, 1960.
126. VOGEL K.: *Die Mathematik der babiloniens*. Paderborn, 1959.
127. VYSE H.: *Operations carried on at the pyramids of Gizeh*. London, 1840.
128. WEIGALL: *Histoire de l'Egypte ancienne*. Paris, 1935.
129. WAINWRIGHT G. A.: *Iron in Egypt*. J. E. A. XVII p. 3, 1932.

130. WARREN: *Palestine exploration fund*. Quaterly st. p. 149. London, 1900.
131. WATSON: The *coffer of the Great Pyramid* (Pal. expl. fund. Quaterly st. p. 151. London, 1900).
132. WEIGALL A.: *Histoire de l'Egyte ancienne*.
133. WOOLLEY L.: *La prehistoria*. London, 1963.
134. ZABA Z.: *L'orientation astronomique dans l'ancienne Egypte et la précessions de l'axe du monde*. Ceskoslovenska Akademie Ved. (Archiv Orientalni Suplementa). Praga, 1953.
135. ZELLER-MONDOLFO: *La filosofía dei Greci*. Firenze, 1950.

## BIBLIOGRAFÍA DE LOS APÉNDICES

- (1) Bridgman P. W — Dimensional Analysis. New Haven 1933, pg. 42.
- (2) Stratton J. A. — Electromagnetic Theory. New York 1941. pág. 18.
- (3) Hill W. S. — Teoría General de las Magnitudes Físicas. Rosario (R. A.) 1941, pág. 68.
- (4) Bond W. N. — Phyl. Mag. 1930 (vol. VII) pág. 845.
- (5) Simonoff M. — Electricidad y Magnetismo. La Plata 1935.
- (6) Brown G. Burniston — Proa Phys. Soc. vol. 53. July 1941, pág. 424.
- (7) Duncanson W. E. — Proc. Phys. Soc. vol. 53. July 1941, 446.
- (8) Wilson W. — Phyl. Mag. 1942 (vol. XXXIII), pág. 26.
- (9) Dingle H. — Phyl. Mag 1943 (vol. XXXIV), pág. 591.
- (10) Hallén Erik — Some Units in the Giorgi System. Trans. Roy. Inst. Techn. Num. 6. Stockholm. 1947, pág. 18.
- (11) Wilson W. — loc. cit.
- (12) Delambre J. B. J. — Bases du Système Metrique Decimale (1806).
- (13) Bridgman P. W. — Phys. Rev. 1916, vol. VIII, pág. 423.
- (14) Bridgman P. W. — The Nature of Physical Theory.
- (15) Simonoff M. — Revista del Centro de Ingeniería. La Plata 1947. Núm. 89.
- (16) Brown G. B. — loc. cit. Duncanson W. E. loc. cit.
- (17) Sir A. S. Eddington — Fundamental Theory. Cambridge 1949. pág. 34.
- (18) Values from data of Russel, Duggan and Stewart in Astronomy (1945).

- (19) Th. Moreux — La Science Myst. Pharaons. (The values correspond to Piazzi Smith measurements).
- (20) J. P. Lauer — Le Problème des Pyramides D'Egypte. Paris 1948.
- (21) Moureau, Th. — op. cit.

**Libros Tauro**

<http://www.LibrosTauro.com.ar>