

Modelo deductivo para construcción de la Pirámide de Keops

Proyecto logístico masivo en el Imperio Antiguo

Introducción

El objetivo de este trabajo es reconstruir completa y consistentemente el proceso de construcción de la Pirámide de Keops.

El enfoque se basa en un modelo estrictamente deductivo con premisas, consecuencias y condiciones límite obligatorias claramente definidas. Se evitan por completo los elementos especulativos.

La tarea principal consistía en el **transporte masivo** y continuo de 3 millones de bloques estándar de 2,3 toneladas cada uno, lo que representa el 99 % del material de construcción.

El reto crucial fue producir esta cantidad de piedra en 20 años y transportarla a la altura requerida. Por lo tanto, la construcción de la pirámide se entiende como un **proyecto logístico masivo**.

El proceso de construcción sigue un principio continuo y uniforme que funciona sin grandes rampas, rampas internas o soluciones híbridas. También se explica el transporte individual de los 200 enormes bloques.

El modelo se basa exclusivamente en:

- Propiedades geométricas de la pirámide,
- Técnicas sencillas y verificables del Imperio Antiguo,
- Información histórica sobre la organización del trabajo.

Los **hallazgos arqueológicos** no sirven como prueba directa del método de construcción, sino únicamente para comprobar la consistencia. El modelo proporciona criterios de posible falsificación.

Si en una situación dada existen varias soluciones técnicas, se elige la que ofrece **mayor eficiencia**. Ésta era la única manera de poder construir el monumento en 20 años y en condiciones de trabajo dignas.

De esta forma la eficiencia se convierte en la **segunda fuente de información**. Por lo tanto, el principio rector fundamental es “**follow the efficiency**”.

Con base en los siguientes **234 premisas y consecuencias**, se puede desarrollar un modelo consistente que permite deducir el método y el tiempo de construcción de la pirámide, como en una demostración matemática. Se explica y clasifica por separado la plausibilidad de cada premisa o consecuencia.

El resultado es una **reconstrucción del proceso de construcción** basada en criterios técnicos y lógicos.

El modelo solo es válido si el proceso global funciona correctamente. Esto significa que todos los componentes (diseño de rampas, método de transporte, número de trabajadores, limitaciones de tiempo) deben interactuar.

Para verificar la teoría de las **rampas multi-espaciales**, es suficiente examinar estas premisas y consecuencias para comprobar su plausibilidad tecnológica e histórica.

Una [conclusión](#) concisa se puede encontrar en la página 22.

Este documento está dirigido explícitamente a la crítica experta.

Agradecemos expresamente cualquier comentario crítico que ayude a aclarar, corregir o refutar suposiciones individuales.

Contacto para comentarios de expertos: mail@rudolfvolz.de

Se pueden encontrar imágenes, tablas y más información en la página web www.cheops-pyramid.net/es

Las premisas y consecuencias se **clasifican** según su origen y justificación de la siguiente manera:

- (A) **Arqueológicamente comprobado.**
Directamente verificable mediante hallazgos arqueológicos, descubrimientos o características estructurales.
- (H) **Documentado históricamente.**
Comprobado por fuentes escritas antiguas o relatos contemporáneos, incluso si estos fueron escritos mucho después de la fase de construcción.
- (E) **Con respaldo experimental.**
Verificable mediante ensayos prácticos, arqueología experimental o experimentos reproducibles.
- (D) **Derivado deductivamente.**
Necesariamente derivado de relaciones geométricas, físicas u organizativas.
- (T) **Tecnológicamente necesario.**
Esta fue una consecuencia inevitable de las conocidas posibilidades y limitaciones técnicas del Imperio Antiguo; soluciones alternativas conducirían a contradicciones en el proceso general.
- (P) **Plausible, histórica y tecnológicamente.**
No está directamente probado ni es concluyente, pero dentro del contexto histórico y tecnológico dado, es plausible y consistente.

La clasificación garantiza la transparencia de la argumentación y no implica ninguna diferencia en el valor de las categorías.

Más bien, permite el análisis específico de supuestos individuales, así como la refutación sistemática del modelo.

Pirámide

¿Cuáles son las dimensiones y propiedades geométricas de la Pirámide de Keops?

- 1) La base de la pirámide tiene un **ancho** de 230,33 m. (A)
- 2) La **altura** (calculada) de la pirámide es de 146,59 m. (A)
- 3) La pirámide tiene 210 **niveles** horizontales. (A)

Modelo de pirámide uniforme

En un modelo de pirámide uniforme, todos los bloques tienen el mismo tamaño. Si consideramos la Gran Pirámide de Giza como modelo uniforme, ¿cuáles son los tamaños de los bloques individuales y cuántos bloques hay?

- 4) Dado que hay 210 niveles, la **altura** de un bloque es $146,59/210 \approx 0,7$ m. (D)
- 5) Cada bloque tiene una **longitud** de $230,33/210 \approx 1,1$ m. (D)
- 6) La **pirámide completa**, incluida la cubierta exterior, consta de aproximadamente 3 millones de bloques. El número exacto es $210^3/3 = 3.087.000$ bloques. (D)
- 7) Los niveles de la **pirámide real** tienen diferentes alturas. (A)
- 8) Sin embargo, el modelo uniforme proporciona una **medida** del progreso de la construcción. La cantidad de material de construcción a una altura dada es idéntica tanto en la pirámide real como en el modelo uniforme. (D)

Fracciones de volumen

¿Qué porcentaje del volumen total está compuesto por la pirámide escalonada interior, la carcasa exterior, los bloques enormes y los espacios vacíos?

- 9) La **pirámide escalonada interior** consta de 209 niveles y aproximadamente 3 millones de bloques. La cifra exacta es de 3.056.198 bloques, lo que corresponde al 99 % del volumen de la pirámide. (D)
- 10) La **carcasa exterior** corresponde a 22.015 bloques, lo que corresponde a un volumen del 0,71 %. (D)
- 11) Los **espacios vacíos** se componen principalmente de la Gran Galería. Además, se encuentran las cámaras funerarias y varios pasadizos. (A)
- 12) Los espacios vacíos corresponden aproximadamente a 2.700 bloques, lo que supone el **0,09** % del volumen de la pirámide. (D)
- 13) Hay unos **200 bloques enormes** que pesan hasta 70 toneladas. (A)
- 14) Los bloques enormes corresponden aproximadamente a 6.000 bloques uniformes, lo que representa el **0,2** % del volumen de la pirámide. (D)

Material de construcción

¿De dónde provino el material para la construcción de la pirámide?

¿Qué porcentaje del material tuvo que transportarse por el Nilo?

- 15) El material de construcción de la pirámide escalonada interior (99 %) proviene del entorno inmediato, las **canteras de piedra caliza** situadas a 300 a 400 m al sur de la pirámide. (A)
- 16) La piedra caliza blanca para la carcasa exterior (0,71 %) fue enviada desde **Tura**, a 30 km de distancia, a través del Nilo. (A)
- 17) Los 200 bloques enormes (0,2 %) están hechos principalmente de granito y proceden de las canteras de Asuán, que están a 800 kilómetros al sur. El material fue enviado a través del Nilo. (A)
- 18) En total, sólo alrededor del **1 % del material** se envió a través del Nilo. (D)

Peso

¿Cuánto pesa un solo bloque y cuánto pesa la pirámide completa?

- 19) Se supone que la **densidad** de la piedra caliza y el granito es de 2,7 toneladas por m³. (E)
- 20) Un **bloque** tiene un peso de casi 2,3 toneladas. (D)
- 21) Según hallazgos en otras pirámides, el **piramidión** pesada aproximadamente 2,7 toneladas. (A)
- 22) El peso de **toda la pirámide** es de aproximadamente 6,9 millones de toneladas. (D)

Rampas

¿De qué material estaban hechas las rampas?

¿Cuáles son las ventajas de las rampas espirales externas?

- 23) Las rampas se construyeron con **ladrillos de barro secados al aire**, que es un material de construcción abundante y sólido. Para evitar que los ladrillos secos se agrieten, la arcilla humedecida debe enriquecerse con arena y paja picada. (P)
- 24) Las rampas descansaban sobre los **escalones de la pirámide escalonada interior**. (T)
- 25) Se utilizó material vegetal para **reforzar** las rampas. (P)
- 26) Un **solo carril de transporte** tenía un ancho de 3 anchos de bloque o 3,3 m. (P)

- 27) La **superficie de las rampas** se estabilizó y alisó con losas de piedra caliza. Esto evitó que los rodillos de madera de los trineos presionaran la superficie de la rampa. (P)
- 28) En lugar de losas de piedra caliza, también se podrían haber colocado **vigas de madera** en la dirección del movimiento. Sin embargo, dada la escasez de madera, se prefirieron las losas de piedra caliza. (T)
- 29) Las rampas contaban con **muros de soporte laterales** para evitar deslizamientos. (T)
- 30) El modelo utiliza un **ángulo de pendiente** de 69 grados, que también cumple con la normativa de seguridad vigente para la construcción de presas. Se aplica la relación:
 $\tan(69^\circ) \approx 4 * 0,7 / 1,1$ (P)
- 31) Según los hallazgos arqueológicos, las rampas tenían un ángulo de unos **7 grados**. (A)
- 32) En el modelo, se elige un **ángulo de rampa** de 6,6 grados. Esto significa que los elementos de la rampa discurren a lo largo de la cuadrícula de bloques de la pirámide escalonada interior. Tras una longitud transversal de 5,5 bloques, cada uno de 1,1 m de longitud, se alcanza una altura de 0,7 m, o el nivel inmediatamente superior. Se aplica la siguiente relación:
 $\tan(6,6^\circ) \approx 0,7 / (5,5 * 1,1)$ (P)
- 33) Con un ángulo de rampa de 6,6 grados, la fuerza de **pendiente descendente** es del 11,5 %. (D)
- 34) La **fricción de rodadura** de rodillos de madera de 25 cm de diámetro sobre una superficie dura y plana (ladrillos de arcilla seca con losas de piedra caliza) es del 4 %. (T)
- 35) Por tanto, la **fuerza de tracción total**, compuesta por la fuerza de pendiente descendente y la fricción de rodadura, es del 15,5 % con respecto al peso del bloque de piedra. (D)
- 36) El volumen de un **elemento de rampa** de un solo carril con 3 anchos de cuadra es
 $3 * 3 (5,5 * 4) / 2 = 99$ unidades de cuadra. (D)
- 37) Con 210 niveles y 20 vértices, el **volumen de un solo carril** se puede estimar como
 $230 * 99 = 22.700$ unidades de bloque.
 Esto corresponde al 0,76 % del volumen de la pirámide. (D)
- 38) Del cálculo del punto 36), se desprende que el volumen de una vía **aumenta cuadráticamente con su ancho**. Si el ancho de la rampa aumenta por un factor de x, la altura también debe aumentar por el mismo factor de x. La pendiente y la longitud de la rampa se mantienen invariables con el aumento. (D)

- 39) Esta relación simple pero **fundamental fue** descubierta por el autor en 2022.
- 40) Esto lo llevó a desarrollar un modelo compuesto por el mayor número posible de carriles individuales estrechos, en lugar de un solo carril ancho. (T)
- 41) Por consiguiente, el modelo se denominó **rampas multi-espinales**. (P)
- 42) Este modelo consta únicamente de **rampas espirales exteriores** y no utiliza una rampa interior. (T)
- 43) El modelo sigue un principio de construcción uniforme y consistente y **no es una solución híbrida**. (T)
- 44) Se puede diseñar un **modelo de rampa detallado** dibujando un plano separado para cada uno de los 4 lados de la pirámide. Primero, se dibuja la cuadrícula de bloques sobre la superficie de la pirámide. Luego, se pueden dibujar las rampas. Al girar en las esquinas, la trayectoria de la rampa continúa de forma uniforme hasta el siguiente plano. (E)
(Ver la Tabla 1 para más detalles)
- 45) Esta es una prueba contundente de que este **tipo de planificación** era fácilmente posible incluso hace 4.500 años. Por ejemplo, se podrían haber utilizado 4 paredes verticales de 2 por 2 m y simulado el recorrido de la rampa con cuerdas. La experimentación habría continuado hasta encontrar una configuración adecuada. De esta manera, la decisión se habría tomado antes de comenzar la construcción, no en la obra. (D)
- 46) El número de **carriles por altura** o nivel se puede determinar utilizando los 4 planos laterales. Dado que el área lateral de un flanco es proporcional al ancho del carril, el número máximo de carriles se determina necesariamente por el área de la superficie de la pirámide escalonada interior. (T)
- 47) El hecho de que el volumen de la rampa aumente cuadráticamente con su ancho contradice el **modelo de espiral simple** de Georges Goyon de 1977, que requiere más del 15 % de material de rampa. (T)
- 48) En la fase inicial de construcción, o en los niveles más bajos, había un total de 13 carriles de transporte. A medida que la pirámide ascendía, el **número de carilles disminuyó** hasta que solo quedó una en la cima. (T)
- 49) La rampa ancha comenzaba en la **esquina suroeste** de la pirámide, ya que era la más cercana a las canteras. (T)

- 50) Hasta la construcción del nivel 55 o hasta el segundo giro de la rampa ancha, la rampa ancha podrá hacerse de cualquier ancho. Durante esta fase, había suficientes carriles de transporte y el proyecto estaba limitado únicamente por el número máximo de 20.000 trabajadores. Esto significa que hasta ese momento el proyecto tenía **trabajadores limitado**. (D)
(Ver la Tabla 3 para más detalles)
- 51) El nivel 55 marca el **punto de inflexión del límite**. En cuanto a la altura, corresponde al cuarto inferior de la pirámide. Para entonces, se había utilizado el 60 % del material y la construcción había durado 8 años. (D)
- 52) A medida que la pirámide crecía y el espacio se hacía cada vez más estrecho, todos los **carriles estrechos** tenían que terminar a diferentes alturas. (D)
- 53) A partir del segundo giro de la rampa ancha o desde la construcción del nivel 56, el proyecto estaba limitado por el número máximo de carriles de transporte físicamente posibles. Esto significa que los tres cuartos superiores de la pirámide estaban **espacio limitado**. (D)
- 54) Sólo la **rampa ancha** conducía a la cima de la pirámide. (T)
- 55) Inicialmente, la rampa ancha tenía 7 carriles. Posteriormente, se podrían eliminar los 5 carriles exteriores y utilizar el material de más arriba para ampliarlos. De este modo, se podría **reciclar** gran parte del material de la rampa. (T)
- 56) Una rampa ancha no solo era necesaria en la fase inicial de construcción, sino que también debía permanecer funcional al menos hasta la mitad de la altura de la pirámide para garantizar la suficiente **flexibilidad logística**. Esto permitió que los grandes bloques de granito para la Cámara del Rey y el sarcófago se entregaran incluso después de 15 años. (D)
- 57) Un proceso de construcción sin esta **reserva de flexibilidad** no hubiera sido viable para una gran obra estatal con obligación absoluta de completarla. (D)
- 58) Las rampas discurrían en sentido **contrario a las agujas del reloj**. Esta era la única manera de garantizar que la entrada norte permaneciera accesible durante la fase de construcción. De lo contrario, la amplia rampa, que comenzaba en el lado sur, habría bloqueado completamente la entrada norte. (D)
- 59) Por lo tanto, un **modelo amplio de una sola espiral** como el de Goyon es incompatible con una entrada norte accesible. (D)
- 60) El **volumen total de la rampa** fue el 6 % del volumen de la pirámide. (D)
(Ver la Tabla 8 para más detalles)

Método de construcción

¿Se construyó la pirámide en planos horizontales o en capas paralelas a la carcasa exterior?

¿Se aplicó la carcasa exterior de una sola vez desde el principio o se añadió posteriormente de arriba a abajo?

- 61) La **pirámide interior escalonada** con 209 niveles fue construida desde abajo hacia arriba. (T)
- 62) El método constructivo se basó en **niveles horizontales** y no en capas paralelas a la carcasa exterior. (A)
- 63) La amplia rampa, que era la única que conducía a la cima de la pirámide, también tenía un **ángulo de rampa constante** de 6,6 grados en la zona superior. (T)
- 64) Si el ángulo de la rampa aumenta en la zona superior, también se debe ampliar el equipo de remolque, aunque allí el espacio se vuelve cada vez más limitado, conduciendo inevitablemente a un **callejón sin salida**. (D)
- 65) Esto contradice el modelo de **Georges Goyon**. (D)
- 66) En el modelo de Jean-Pierre Houdin, esto conduce a una contradicción irresoluble, ya que la **rampa interior** está situada dentro de la pirámide y el espacio es mucho más estrecho que para la rampa exterior. (D)
- 67) En el cuarto superior de la pirámide, la amplia rampa descansaba parcialmente sobre las **circunvalaciones inferiores**. Como la rampa ancha tenía en total 10 m de ancho, en la zona exterior de la rampa quedó un carril de transporte de 4,5 m de ancho. (T)
- 68) Sobre esta vía de transporte exterior se podrían instalar los pocos bloques de la parte superior y el **piramidión**, con un peso de 2,7 toneladas. (T)
- 69) Las líneas de los bordes afilados en la parte inferior del piramidión estaban **biseladas**. (A)
- 70) El biselado impidió que los bordes exteriores se **rompieran**. Al instalar el piramidión, fue necesario introducir cuñas bajo estos bordes para retirar los rodillos que se encontraban debajo. Esto generó altas fuerzas de compresión en esta zona. (D)
- 71) Al envolver la amplia rampa, se creó una **plataforma** de 8 por 8 m en la cima. Esto proporcionó una buena base para trabajar en la estrecha cima. (T)

- 72) La elevación del piramidi6n probablemente representaba un **acto sagrado** de clausura del proyecto de construcci6n. El fara6n era llevado en litera hasta la plataforma superior. Altos funcionarios y sacerdotes estaban presentes en todas las rampas. (P)
- 73) Tras la construcci6n del piramidi6n, se desmontaron las rampas de arriba abajo. Simult6neamente, se instal6 la **carcasa exterior** de arriba a abajo. Las rampas restantes proporcionaron una buena plataforma de trabajo. Sin embargo, este proceso solo se llev6 a cabo hasta una altura de 15 m. (T)
- 74) A una **altura de 15 m**, las rampas se desmontaron por completo. A continuaci6n, se construy6 la carcasa exterior desde abajo con bloques pesados, alcanzando una altura de 15 m, y se conect6 a la parte superior de la carcasa exterior. Posteriormente, se retiraron todos los componentes restantes de la rampa. (T)
- 75) La raz6n por la que la carcasa de la secci6n inferior se aplic6 de abajo arriba fue probablemente que la superposici6n de bloques de piedra inevitablemente crea **juntas m6s delgadas**. Esto impedía ver la pir6mide escalonada interior marr6n a trav6s de las juntas. Como resultado, el edificio parecía fundido a partir de un solo molde y lucía m6s majestuoso. (D)
- 76) Cuando dos bloques pesados se encuentran uno al lado del otro, las piedras se unen de forma natural. Esto se debe a la escasa **solubilidad en agua** de la roca y a la posterior recristalizaci6n en la zona de la uni6n. Se trata del alisado y relleno autom6tico de las juntas. (T)
- 77) Con el tiempo, se observa que ni siquiera un **trozo de papel** cabe en las juntas. Sin embargo, esto no era necesariamente así en la fase inicial. Este fen6meno tambi6n se observa en otras estructuras de precisi6n, como Machu Picchu. (D)
- 78) Las caras de la pir6mide est6n plegadas hacia adentro, por lo que tiene **8 lados**. En el lado norte, la curvatura interna mide 94 cm. (A)
- 79) La entrada norte se desplaz6 7,29 m hacia el este desde la línnea central, ya que las cargas de presi6n m6s altas ocurren a lo largo de esta línnea. (A)

Precisi6n

¿C6mo fue posible que la pir6mide tuviera esta forma geom6trica perfecta?

¿C6mo se pudo determinar con tanta precisi6n la direcci6n norte-sur?

- 80) Al construir la pir6mide escalonada interior, s6lo era importante que el **centro de cada nivel** se moviera verticalmente hacia arriba. (T)
- 81) Con la colocaci6n del piramidi6n, se determinaron las **proporciones exactas** de la pir6mide. (T)

- 82) Posteriormente, comenzó el verdadero **trabajo de precisión** con la instalación de la carcasa exterior. Se utilizaron perpendiculares grandes para determinar con precisión el ángulo de la rampa. (P)
- 83) Los trabajadores tenían una **visión clara** hacia arriba y hacia los lados. (D)
- 84) Por ello, este proceso tardó **1,6 años**, a pesar de que solo se utilizó el 0,7 % del material. (D)
- 85) Para determinar la **dirección norte-sur**, se utilizó una vara de sombra similar al gnomon indio. Dado que una sola medición está sujeta a errores, la alta precisión solo pudo determinarse estadísticamente a partir de varias mediciones. (T)
- 86) Se podrían determinar **planos horizontales** precisos enjuagándolos con agua. (T)
- 87) Se determinó una **línea larga** y precisa a lo largo de los bordes de la base de la pirámide utilizando una cuerda flotante. El valor promedio se calculó a partir de varias mediciones. (T)

Trabajadores

¿Cuántos trabajadores había en la obra?

¿Por qué había más trabajadores durante la inundación del Nilo?

- 88) En cualquier momento había **10.000 trabajadores** en el sitio de construcción. (H)
- 89) Durante la **inundación del Nilo**, se emplearon 10.000 agricultores adicionales durante más de tres meses. Por lo tanto, hubo 20.000 trabajadores durante este período. (A)
- 90) Durante $\frac{3}{4}$ partes del año, solo había la mitad de la fuerza laboral, o la **mitad de la productividad**. Durante el $\frac{1}{4}$ restante, la productividad era plena. (H)
- 91) Por lo tanto, el **número de carriles de transporte** tuvo que diseñarse para dar cabida a toda la plantilla. Esto era fácilmente posible en el tercio inferior de la pirámide, pero en las zonas superiores, la plantilla completa ya no podía desplegarse debido a las limitaciones de espacio. (T)
- 92) La **parte productiva** de los trabajadores se empleaba en las canteras o en el transporte de carga. Esto representaba el 66 % de la fuerza laboral total. (P)
- 93) La parte productiva sólo podía considerarse como una **suma**, porque la división en canteras y depósitos de transporte dependía del nivel de avance constructivo de la pirámide. (D)

- 94) Los **gastos generales**, con un 34 %, se desglosaron de la siguiente manera:
construcción y mantenimiento de las rampas 12 %,
trineos, herramientas y reparaciones 4 %,
planificación, supervisión, médicos, sacerdotes 7 %,
catering 8 %,
bajas por enfermedad 3 %. (P)

Transporte

¿Por qué solo se podía usar fuerza humana y no fuerza animal?

Los métodos de transporte incluían trineos deslizantes, trineos sobre ruedas de madera y el método de cadena humana. ¿Dónde se utilizaban estos diferentes métodos de transporte?

- 95) La **fuerza animal** no podía utilizarse directamente en la pirámide. Los animales son incontrolables debido a su miedo a las alturas y al espacio reducido. En un transporte masivo cronometrado con equipos de transporte acoplados en serie, el comportamiento descontrolado de un solo animal bastaría para interrumpir el flujo de toda una vía. Por lo tanto, la tracción animal es sistémicamente inadecuada en estas condiciones. (T)
- 96) Un **equipo de transporte** para un bloque que pesaba 2,3 toneladas estaba compuesto por 22 trabajadores. (T)
- 97) El equipo de transporte tenía un **rango de movimiento** de 20 m incluyendo un tope de 6 m. (T)
- 98) Mirando hacia atrás, 14 trabajadores tiraron simultáneamente con **25,5 kp** o 250 N durante 1,2 segundos. (P)
- 99) Al hacerlo, generaron un movimiento del trineo de 25 cm. (E)
- 100) Los trabajadores tuvieron entonces 2,4 segundos para reposicionarse. (P)
- 101) De esta manera, el equipo se movió a una **velocidad** de 4,17 m/min. (D)
- 102) En las **esquinas** y durante los 10 m anteriores, las rampas no tenían pendiente. (T)
- 103) Por lo tanto, los trabajadores de esta zona solo tuvieron que tirar con una cuarta parte o el **26 % de su fuerza** habitual. (D)
- 104) Esto permitió al equipo **avanzar con mayor rapidez** en esta sección y compensar la maniobra de giro en la esquina. (D)
- 105) Esto compensó la desaceleración causada por la maniobra de giro y evitó un **atasco** en las curvas. (T)
- 106) La **maniobra de giro** es similar a la de aparcar un coche. (D)

- 107) De los carriles de transporte, uno siempre se utilizaba como **ruta de regreso** independiente. Esto creaba un movimiento circular sin colisiones. (H)
- 108) La **velocidad** en el viaje de regreso fue 5 veces mayor que durante el transporte de subida. (P)
- 109) El **transporte de masa cronometrado** comprendió el 99 % para la pirámide interior escalonada y el 0,7 % para la carcasa exterior. (D)
- 110) Estos bloques pesaban menos de 5 toneladas, por lo que podían transportarse mediante **rodillos de madera**. (D)
- 111) Los bloques grandes (0,2 %) se colocaron sobre la **superficie horizontal** de la pirámide truncada a través de la amplia rampa del lado sur durante los primeros 5 años. (T)
- 112) Allí cubrían menos del **15 % de la superficie**. (D)
- 113) Como los rodillos de madera pueden romperse bajo pesos superiores a 5 toneladas, aquí se utilizó el transporte sobre **vigas de madera con barro del Nilo**. (T)
- 114) Mediante una **rampa temporal** de 2 grados, los bloques se trasladaron al siguiente nivel superior, que se construyó parcialmente. No fue necesario rotarlos ni girarlos. (T)
- 115) Este método se denomina **zigzag lifting**, porque el levantamiento se realiza únicamente moviéndose hacia adelante y hacia atrás. (P)
- 116) A partir del **60 %** de la altura ya estaban contruidos todos los bloques enormes. (A)
- 117) De esta manera, los bloques de gran tamaño podrían **desacoplarse** del transporte masivo y no sería necesario transportarlos por las rampas exteriores. (D)
- 118) La construcción del **tejado a dos aguas del lado norte** fue una operación individual. Se realizó mediante el descenso controlado de arena y el uso de barandillas. Los bloques opuestos se unieron mediante salientes para que se enderezaran correctamente durante el descenso. (E)
- 119) Los ladrillos de arcilla de 8 kg para las rampas se transportaron mediante un **método de cadena humana**. Este método no requería rampas y, por lo tanto, era flexible. Se trataba de transportes individuales. (T)
- 120) Este método era 6 veces más eficiente que el transporte pesado con trineos. (D)

Condiciones de trabajo

¿Cuántas horas se trabajaban a la semana?

¿Las condiciones laborales eran tan duras como en la esclavitud o cumplían con nuestros estándares humanos actuales?

- 121)** Había **300 días laborables** en el año. El resto eran festivos. (H)
- 122)** El trabajo se realizaba en **2 turnos** diarios. (H)
- 123)** En verano, el **primer turno** funcionaba de 4:00 a 10:00 y el segundo, de 16:00 a 22:00. Esto evitó trabajar en calor extremo. (P)
- 124)** Esto da como resultado un tiempo de trabajo promedio de poco menos de **35 horas por semana**. (D)
- 125)** Solo los bloques de las **capas más externas** eran regulares. La mayoría de los bloques eran completamente irregulares. (A)
- 126)** Se estimaron 6 días hábiles para la **producción de un bloque** de 2,3 toneladas. (E)
- 127)** El **convoy** de transporte no podía detenerse durante un turno. Reanudarlos tomaría demasiado tiempo. (T)
- 128)** Por lo tanto, los trabajadores tomaban **descansos rotativos**. (D)
- 129)** Un trabajador que transportaba material debía tirar durante el equivalente a más de **1 hora** al día con una fuerza de 26 kp o 254 N. (D)
- 130)** Esta carga de trabajo combinada con una semana de 35 horas corresponde a **condiciones de trabajo humanas** incluso para los estándares actuales. (E)
- 131)** Los trabajadores que construían las rampas tomaban **descansos colectivos**, ya que el reinicio fue rápido. (T)
- 132)** Cada turno constaba de 6 unidades de **45 minutos de trabajo** y 15 minutos de descanso. (T)
- 133)** Durante el transporte masivo, se transportó el 99 % del material, consistente en bloques con un peso inferior a 5 toneladas. Si se hubieran utilizado **trineos deslizantes** para este transporte, el tiempo de construcción habría aumentado a 26 años, considerando la misma carga de trabajo para los trabajadores. Esto representa una pérdida de eficiencia del 30 % en comparación con el método de transporte con trineos sobre rodillos de madera. (D)
(Ver la Tabla 10 para más detalles)

- 134) Por lo tanto, el método de transporte con trineos sobre rodillos de madera era una **necesidad** para lograr el tiempo de construcción de 20 años en condiciones de trabajo humanas. (T)
- 135) La **ineficiencia** de los trineos deslizantes no se debe principalmente a la fricción 2,3 veces mayor en comparación con los trineos sobre rodillos de madera. (D)
- 136) La primera razón importante es el gran número de **transportadores de agua** necesarios, ya que todos los equipos de remolque en una ruta deben recibir continuamente lodo del Nilo. (D)
- 137) Dado que los aguadores se mueven 4 veces más rápido que los equipos de transporte, se puede hacer la siguiente observación:
El cuarto equipo necesita 1 aguador, el octavo equipo, 2 aguadores, el duodécimo equipo, 3 aguadores en el carril, etc.
Si se suman los aguadores de todos los equipos, resulta que el **número de aguadores aumenta cuadráticamente** con el número de equipos de transporte en el carril. (D)
- 138) La siguiente fórmula proporciona una buena estimación del **número de aguadores** necesarios para operar un carril en 2 turnos diarios.
Aquí, Y representa el nivel actual (1-210) del proceso de construcción:
 $20 + Y*Y / 18 \approx$ portadores de agua dependiendo del nivel Y.
En el medio de la pirámide en el nivel 105, el número de portadores de agua se determina en 632.
En la cima en el nivel 207, el número aumenta a 2,401 portadores de agua, lo que representa un aumento de casi 4 veces. (D)
(Ver la Tabla 10 para más detalles)
- 139) La segunda razón importante es que los portadores de agua se desplazan 4 veces más rápido que los equipos de remolque y, por lo tanto, requieren su propia ruta de transporte. En consecuencia, las rampas tendrían que ser un 20 % más anchas, lo que incrementaría su **volumen en un 44 %**. (D)
- 140) La constante humedad del barro del Nilo dejaba una **capa resbaladiza** en las superficies de las rampas. Por lo tanto, los trabajadores descalzos resbalaban constantemente y, en general, tenían condiciones de trabajo desagradables. (E)

Reconstrucción deductiva

¿Por qué la planificación de la producción depende tanto de la altura de construcción actual?

¿Por qué no basta con considerar un solo equipo de transporte para el cálculo?

- 141)** En la literatura, se suele utilizar un solo equipo de transporte como punto de partida para el cálculo. (H)
- 142)** Sin embargo, esto es problemático porque la cantidad entregada está **muy estrechamente vinculada** al nivel de avance de la construcción. Además, el número de trabajadores para el transporte, la producción y los gastos generales está vinculado. (D)
- 143)** Por lo tanto, un **carril de entrega con personal completo** debe considerarse la unidad mínima de cálculo. (D)
(Ver la Tabla 2 para más detalles)
- 144)** Con un carril completamente ocupado, se podrían entregar **146 bloques por día**. (D)
- 145)** La siguiente fórmula proporciona una buena estimación del **número total de trabajadores** necesarios para operar un carril. Aquí, Y representa el número del nivel actual (1-210) del proceso de construcción:
 $1.750 + 26 \cdot Y = \text{número de trabajadores según el nivel Y}$. (D)
(Ver la Tabla 2 para más detalles)
- 146)** El **número de carriles de entrega** se puede calcular en función del número de trabajadores por carril y del número total de trabajadores. Por supuesto, deben existir físicamente los carriles de entrega correspondientes, además de un carril de retorno independiente. (D)
(Ver la Tabla 3 para más detalles)
- 147)** El número de carriles de entrega es una medida del **rendimiento general** del sistema. En este caso, medio carril no significa que el carril tuviera la mitad de ancho, sino que en el carril había solo la mitad de equipos de transporte y la distancia entre los equipos de transporte era correspondientemente mayor. (D)
- 148)** El método de construcción siguió un principio consistente y uniforme y no es una **solución híbrida**. (D)
- 149)** El **principio de construcción uniforme** era común en el Reino Antiguo. (H)
- 150)** Esta era la única manera en que **miles de trabajadores** podían trabajar en un mismo proyecto. (T)
- 151)** El objetivo de esta teoría es describir y analizar completamente un **proceso de construcción que involucra transporte masivo**. (P)

152) Si en algún punto del proceso existen **varias posibilidades**, se debe preferir la más eficiente. (T)

153) Así, además de los escasos hallazgos arqueológicos, surge otro principio rector, y con él, una **segunda fuente de información**.

Esta fuente de información es el criterio de eficiencia, de acuerdo con las costumbres técnicas y político-religiosas de la época. (T)

Estimación simple del tiempo de construcción

¿Cómo se puede determinar el tiempo de construcción de un nivel? ¿Se puede estimar el tiempo de construcción de la pirámide mediante cálculos sencillos?

154) En el siguiente **ejemplo de cálculo**, el tiempo de construcción del nivel 110 se determina mediante métodos de cálculo sencillos y elementales. Este nivel se encuentra ligeramente por encima del centro de la pirámide y puede utilizarse como un buen valor promedio.

Según la fórmula del punto 145), el número de trabajadores necesarios para operar una sola vía se puede calcular:

$$1.750 + 26 \cdot 110 = 4.610 \text{ trabajadores por carril.}$$

Fuera del período de la inundación del Nilo, se podrían utilizar $10.000 / 4.610 = 2,17$ carriles.

Durante la inundación del Nilo, los trabajadores podrían haber operado el doble de capacidad, es decir, 4,34 carriles.

Sin embargo, como solo había 5 carriles físicamente disponibles en ese momento, y uno de ellos se utilizó para el carril de regreso, solo se pudieron utilizar 4 carriles.

El promedio anual fue $(9 \cdot 2,17 + 3 \cdot 4) / 12 = 2,63$ carriles.

De esta forma se podrían producir, entregar e instalar $144 \cdot 2,63 = 379$ bloques por día laboral.

El nivel 110 consta de $(210-110) \cdot (210-110) = 10.000$ bloques.

Por lo tanto, la construcción del nivel 110 requiere $10.000 / 379 = 26,4$ días laborables.

Si se toma este tiempo de construcción como la duración media de un nivel y se suponen 300 días laborables al año, el tiempo de construcción de la pirámide escalonada interior, incluido el piramidión, es de $210 \cdot 26,4 / 300 = \mathbf{18,48 \text{ años}}$. (D)

155) En general, es más que sorprendente que esta buena estimación pueda obtenerse de una manera tan sencilla.

No se necesitan calculadoras electrónicas.

Basta con una **hoja de papel** para realizar operaciones aritméticas básicas. (E)

- 156)** Esta es una prueba contundente de que esta **forma de pensar** era fácilmente posible incluso hace 4.500 años. (P)
- 157)** El ejemplo anterior muestra que durante la construcción de la pirámide había en promedio **2,7 carriles de transporte** de 3,3 m de ancho por año en la zona central, más un carril de retorno separada. (D)
- 158)** Esto contradice la teoría de la **rampa interna** de Jean-Pierre Houdin de 2003, que postula un carril de transporte de tan solo 2,6 m de ancho en los dos tercios superiores de la pirámide. Con esta capacidad de transporte limitada, la construcción habría tardado más de 30 años. (D)
(Ver la Tabla 6 para más detalles)
- 159)** A medida que aumenta la altura, el volumen de cada nivel disminuye cuadráticamente.
Por otro lado, a medida que aumenta la altura, el número de trabajadores necesarios para el transporte aumenta linealmente, y el número de carriles de transporte disminuye linealmente.
Por lo tanto, se producen **dos fenómenos opuestos**. Debido a la disminución cuadrática del volumen de los niveles, el tiempo de construcción de cada nivel disminuye con la altura.
- | | |
|------------|-------------------------------|
| Nivel 1, | 43,8 días de construcción, |
| Nivel 110, | 26,2 días de construcción, |
| Nivel 200, | 0,7 días de construcción. (D) |
- (Ver la Tabla 6 para más detalles)

Arqueología

¿Qué hallazgos y evidencias arqueológicas existen sobre la Pirámide de Keops?

- 160)** El período de construcción de 20 años fue dado por los dos historiadores **Heródoto y Diodoro**. (H)
- 161)** Keops probablemente tuvo un **reinado de 23 años**. (H)
- 162)** El hecho de que Keops todavía estuviera vivo al **final de la construcción** apoya independientemente la afirmación de un período de construcción de 20 años. (D)
- 163)** Si Keops hubiera muerto antes de que se completara la pirámide, entonces la construcción probablemente **no habría terminado**. (D)
- 164)** En general, este es el **tiempo de construcción más largo** conocido para una pirámide. (H)
- 165)** La **Pirámide Roja** es la predecesora de la Gran Pirámide de Giza. Es algo más pequeño y su construcción duró entre 10 y 11 años. (A)

- 166) En aquella época se conocían todas las **técnicas**, recursos y métodos de trabajo. (T)
- 167) Diodoro menciona que **no había dispositivos de elevación** en el Imperio Antiguo. (H)
- 168) Diodoro también menciona que las piedras eran transportadas utilizando **terraplenes de tierra inclinados**. (H)
- 169) Estos eran dispositivos flexibles de **elevación y transporte** en el Imperio Antiguo. (A)
- 170) Diodoro también menciona que las piedras se transportaban utilizando **terraplenes de tierra inclinados**. (H)
- 171) Estos eran **dispositivos flexibles de elevación y transporte** del Imperio Antiguo. (A)
- 172) Para superar a su padre, los constructores de pirámides tuvieron que construir la pirámide más grande posible en 20 años. (P)
- 173) Para cumplir esta tarea, era esencial para los constructores de las pirámides elegir el **método más eficiente** en cada etapa del proceso. (T)
- 174) En el Imperio Antiguo, la **eficiencia no era un lujo**, sino una necesidad. (T)
- 175) Heródoto describe asignaciones de trabajo de **10 veces 10.000** trabajadores, lo que suele equivaler a 100.000 trabajadores. Se dice que estas asignaciones de trabajo duraron 3 meses. (H)
- 176) Esto probablemente puede interpretarse en el sentido de que durante la inundación del Nilo se formaron en todo Egipto un total de **10 grupos** de 10.000 trabajadores cada uno, lo que correspondía a aproximadamente un tercio de los agricultores de aquella época. (P)
- 177) **Una de los grupos** fue utilizada además para la construcción de la pirámide. (T)
- 178) Dado que el número máximo de trabajadores en la pirámide era 20.000, se puede concluir que **sólo 10.000** trabajadores estuvieron empleados durante los 9 meses restantes. (D)
- 179) Diodoro escribe sobre la ominosa cifra de **360.000** trabajadores. (H)
- 180) Sin embargo, esto es imposible, porque eso correspondería a aproximadamente **una cuarta parte** de la población de todo Egipto en ese momento. (D)
- 181) El significado que se pretende dar es que, si se toma el tiempo de construcción de 20 años y se suman los 10 años de construcción de la calzada, se llega a un total de 30 años para el proyecto. Con un promedio de 12.000 trabajadores, esta cifra representa **los años de trabajo** de todo el proyecto. (T)

- 182) Entre las tumbas se encontró una imagen que representa el transporte de una estatua de al menos 10 toneladas en un **trineo deslizante**. (A)
- 183) Esto representa una **ceremonia político-religiosa**, ya que en las tumbas solo se representaban temas de motivación religiosa. (H)
- 184) Por esta razón, es comprensible que no haya representaciones de **trineos sobre rodillos de madera** en las tumbas. Las imágenes funerarias tenían como objetivo ayudar a los difuntos a alcanzar el más allá y no explicar por qué la fricción rodante es más adecuada para el transporte de masas que la fricción deslizante. (D)
- 185) Esto explica también por qué no hay **hallazgos de trineos** ni rodillos de madera en las tumbas. (D)
- 186) Tampoco hay hallazgos arqueológicos de **rodillos de madera** fuera de la pirámide. (A)
- 187) Esto es comprensible, ya que los rodillos de madera eran **herramientas valiosas** y se reutilizaban en otros lugares tras la construcción de las pirámides. Incluso si los rodillos hubieran estado viejos y rotos, el material habría servido como combustible valioso. (T)
- 188) El **material de la rampa** se desmontó en paralelo a la instalación de la carcasa exterior. (T)
- 189) Dado que el material de la rampa constituía solo el 6 % del volumen de la pirámide, el 12% de los trabajadores pudo **retirarlo en 1,5 años**. El material de la rampa se transportaba mediante cadenas humanas, lo cual es 4 veces más eficiente que transportar los bloques de piedra en trineos. (D)
- 190) Tras la instalación de la carcasa exterior, se construyó un **muro perimetral** alrededor de la pirámide a una distancia de 10 m. Se pavimentó el área entre la pirámide y el muro. Posteriormente, se añadió un segundo muro perimetral a una distancia de 20 m para separar mejor las mastabas circundantes. (H)
- 191) Tras la finalización de la pirámide, se trabajó y construyó en un radio de 20 metros. Esta era la zona donde las rampas espirales se asentaban sobre la superficie terrestre. Por lo tanto, ahora es completamente imposible encontrar **restos de adobe** o material vegetal en esta zona. Si se encontraran fragmentos individuales de piedra caliza, sería imposible determinar si se trata de restos de una rampa. (T)
- 192) In unmittelbarer Nähe der südlichen Steinbrüche befinden sich **Funde von Rampenresten** mit einem Winkel von etwa 7 Grad, die in Richtung der südwestlichen Ecke der Pyramide zeigen. (A)

- 193)** Durante 20 años, se transportaron un total de 6,9 millones de toneladas de roca desde las canteras hasta la pirámide.
Por lo tanto, por razones de eficiencia, era esencial construir una **ruta de transporte masiva** aquí, que también debía superar ligeros desniveles. (T)
- 194)** La ruta de transporte también sirvió como **almacén intermedio**, ya que en la fase inicial se utilizaban hasta 1600 bloques al día.
Si bien el transporte programado solo comenzaba con las rampas de la pirámide, era necesario garantizar un suministro continuo de materiales en todo momento para evitar tiempos de inactividad. (T)
- 195)** Mark Lehner interpretó los hallazgos en las canteras del sur como los restos de una **gran rampa** que conducía a la pirámide. Esta rampa habría tenido aproximadamente 320 m de longitud y abarcaba el 9 % del volumen de la pirámide. Jean-Pierre Houdin adoptó esta teoría en su teoría del túnel. (H)
- 196)** Si esta gran rampa hubiera existido, se habrían realizado hallazgos más significativos.
En resumen, esto no constituye evidencia arqueológica, sino una **interpretación** que contradice la eficiencia y un principio de construcción uniforme. (D)

Comprobación arqueológica de las rampas multi-espaciales

¿Los pocos hallazgos y evidencias apoyan o contradicen las rampas multi-espaciales?

- 197)** El modelo explicativo de las rampas multi-espaciales es consistente con los pocos hallazgos y evidencias y, por lo tanto, es **arqueológicamente neutral**. (D)
- 198)** La teoría utiliza únicamente **técnicas** que eran conocidas en el Imperio Antiguo. (H)
- 199)** El material de la rampa del 6 % tuvo que retirarse por completo al instalar el revestimiento exterior.
Por lo tanto, no puede haber **restos arqueológicos** aquí. (T)
- 200)** La **falta de restos de rampas a gran escala** es un argumento en contra de las rampas grandes clásicas, pero a favor de rampas temporales, más pequeñas y con reciclaje. (D)
- 201)** Esto va en contra, en particular, de una **rampa exterior recta** que, en un ángulo de 6,6 grados, habría tenido una longitud de 1,3 km y un volumen del 160 % respecto al volumen de la pirámide. (D)
- 202)** Las rampas espaciales descansaban planas sobre los escalones de la pirámide escalonada interior. Estas rampas servían no solo como soportes, sino también como amortiguadores mecánicos. Esto evitaba las cargas puntuales y, por lo tanto, la **deformación del subsuelo**. (T)

- 203) Cualquier **signo de desgaste** en el límite entre la rampa y la pirámide podría haber sido causado por impactos laterales durante el transporte. (T)
- 204) El modelo explicativo de rampas multi-espirales utiliza como **criterio argumentativo** únicamente el funcionamiento cerrado y consistente del proceso global, prestándose atención a la optimización de la eficiencia en cada punto. (T)
- 205) Los **criterios arqueológicos** se utilizan únicamente para comprobar la consistencia o la falsación, nunca como evidencia de la teoría. (D)
- 206) Los arqueólogos tendrán ahora la oportunidad de comprobar o **refutar** esta teoría.
En las zonas de la pirámide donde había rampas, la concentración de restos de ladrillo seco entre las juntas de los bloques de piedra debería ser significativamente mayor que en las zonas donde no había rampas. (A)
- 207) Especialmente en el **lado sur**, donde hubo una rampa ancha durante un período de tiempo más largo, debería haber signos de desgaste lateral y posiblemente decoloración. (A)
- 208) Los 15 m inferiores de la carcasa exterior de la **Pirámide de Menkaura** aún se conservan. El tamaño de las piedras sugiere que solo pudieron colocarse de abajo hacia arriba. (A)
- 209) Se conservan algunas piedras del revestimiento exterior de la Pirámide de Keops en la **sección inferior**. El tamaño de estas piedras sugiere que fueron colocadas de abajo hacia arriba. (A)
- 210) En general, se plantea la pregunta de por qué, aparte de la propia estructura, casi **no existen hallazgos arqueológicos** con los que se pueda explicar la construcción de la pirámide. (P)
- 211) En las cámaras de alivio situadas encima de la Cámara del Rey hay **grafitis** realizados por trabajadores de la construcción que contienen declaraciones como "Amigos de Keops". (A)
- 212) Originalmente, este lugar estaba cerrado e **inaccesible**. Hace casi 200 años, los involucrados forzaron su entrada. (H)
- 213) En 2013, se encontraron **documentos hechos de papiro** en el Mar Rojo, a unos 250 kilómetros de Giza. (A)
- 214) Uno de los documentos es una **lista de piezas** para la construcción de la Gran Pirámide de Giza. Esto indica claramente que el proyecto de construcción, en su estructura, se asemeja a una gran corporación moderna, pero utilizando las técnicas de la época. (D)

- 215) De los **dos únicos hallazgos**, uno estaba en un lugar inaccesible y el otro muy lejos de la pirámide. (A)
- 216) Los dos historiadores Heródoto y Diodoro recibieron su información más de **2.000 años** después sólo a través de la tradición oral. (H)
- 217) De esto se puede concluir que el **gremio de constructores de pirámides** era una casta alta y guardaba todo su conocimiento estrictamente para ellos mismos. (D)
- 218) Por lo tanto, se aseguraron de que **no quedaran documentos** ni rastros permanentes. (D)

Conclusión

¿Cómo deben interpretarse los resultados hasta el momento?

¿Tiene el modelo explicativo alguna implicación que facilite futuras investigaciones arqueológicas?

- 219) A pesar de la monumental construcción, sólo existen **escasos hallazgos arqueológicos y evidencias** que indican su método de construcción. (A)
- 220) Dado que la construcción de pirámides evolucionó y cambió a lo largo de 300 años, los **hallazgos en otras pirámides** son de poca ayuda. (D)
- 221) En 1981, el arqueólogo Dieter Arnold declaró:
“Ya no se puede determinar cómo lograron superar el problema los constructores egipcios. Sin embargo, los ejemplos de la Gran Pirámide de Giza y la Pirámide de Kefrén demuestran que lograron resolverlo.” (H)
- 222) La única manera de progresar aquí es ponerse en el lugar de los **jefes de obra**.
Tuvieron que erigir una estructura perfecta y gigantesca en 20 años. Un fracaso habría sido la mayor catástrofe para el faraón y habría conllevado los más severos castigos para los jefes de obra. (P)
- 223) En este contexto, era más que imperativo que los directores de obra optaran por el **método de construcción más eficiente** y seguro. (T)
- 224) Esto crea una **segunda fuente de información**, que inevitablemente toma una decisión en cada momento. (D)
- 225) Esto permite crear un **plano de construcción reconstruido** con la mayor eficiencia posible. (D)
- 226) En conjunto, el resultado es un **modelo explicativo completo y racional** de la construcción de la pirámide. (D)

227) Pero eso es también el **máximo** que se puede esperar en este momento. (D)

228) El modelo explicativo proporciona a la arqueología un método de verificación para buscar en el futuro rastros de rampas entre los bloques de piedra exteriores.
Esto permitirá **confirmar o refutar la teoría arqueológicamente**. (A)

229) Aplicando el método de cálculo utilizado para la Pirámide de Keops a la **Pirámide Roja**, se obtiene un tiempo de construcción de 12 años. Este resultado se aproxima al de Rolf Krauss y John Romer, quienes calcularon un tiempo de construcción de entre 10 y 11 años basándose en grafitis que representaban las fases de la construcción. (P)

Contexto histórico

Los siguientes puntos no forman parte de la justificación deductiva de este modelo y sirven únicamente para la contextualización histórica.

230) En 1912, **Uvo Hölscher** publicó una propuesta en la que se colocan rampas laterales en la pirámide escalonada interior y serpentean hacia arriba en espiral. (H)

231) En 1956, **Dows Dunham** publicó un modelo en el que una rampa comenzaba en cada una de las 4 esquinas de la pirámide. (H)

232) La obra fue creada mediante una **colaboración interdisciplinaria** con Walter Vose, profesor de ingeniería. El resultado se presentó en una exposición, pero no se desarrolló más. (H)

233) Esta **innovadora obra** no logró ser aceptada debido a las dos objeciones siguientes:

- Los bloques grandes no pueden transportarse por las rampas estrechas (puntos 109-115)
- Se produce congestión en las esquinas de las rampas (puntos 102-106) (H)

234) Las tres **interpretaciones** siguientes fueron ampliamente utilizadas en la investigación. Por lo tanto, influyeron significativamente en el marco de la discusión anterior, lo que dificultó el desarrollo de un modelo logístico general consistente:

- La carcasa exterior se instaló paralela a la pirámide escalonada (Goyon, Lehner, Houdin), (puntas 207-209)
- Una rampa exterior conducía desde las canteras hasta la pirámide (Lehner, Houdin), (puntas 192, 195)
- El transporte mediante trineos deslizantes es arqueológicamente convincente (puntas 182-183). (P)