

# LA LEY CUADRÁTICA-CÚBICA

- Por Pepo Toledo -

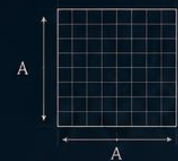
LONGITUD

$$L' = kL$$



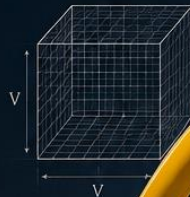
SUPERFICIE

$$A' = k^2A$$



VOLUMEN

$$V' = k^3V$$



Cómo el tamaño transforma la forma,  
la fuerza y nuestra percepción del mundo.

# **La Ley cuadrática-cúbica**

**Cuando el tamaño transforma la forma, la fuerza y nuestra percepción del mundo**

**Por Pepo Toledo**

[www.pepotoledo.com](http://www.pepotoledo.com)

31/05/2026

## Contenido

Introducción.....	4
Ley cuadrática-cúbica.....	6
Efecto en el arte tridimensional y la percepción .....	6
Propiedades tridimensionales del objeto.....	6
Estabilidad (resistencia vs. peso).....	7
El mundo bidimensional: Pintura y murales.....	8
El cálculo técnico para muralistas.....	8
Arquitectura: Los límites del tamaño .....	10
Biología: Los límites del tamaño.....	11
Aplicación en la aviación y aerodinámica .....	13
Perspectiva de importancia vs Ley cuadrática-cúbica .....	14
1. Aplicación de la Ley cuadrática (la superficie).....	15
2. Aplicación de la Ley cuadrática-cúbica (la ilusión de volumen).....	15
3. Relación con la perspectiva .....	16
Conclusiones.....	17
Referencias .....	18

## Introducción



En 2013 instalé la escultura urbana *Nudo neurológico al final del arco iris* en el Centro Cultural Carranza, CDMX.

Previo a fabricar la escultura, hice dos maquetas pequeñas en dos tamaños diferentes. Observa la foto.



La grande la hice con varilla de hierro de 1/2 pulgada y la pequeña con varilla de 1/4 de pulgada. Ambas se sostienen sólidamente.

Me llamó la atención que la escultura pequeña, que es la mitad de tamaño que la grande, parece ser de apenas un tercio. Dicho al revés, la escultura grande, que es del doble de tamaño que la pequeña, parece tres veces más grande. La matemática explica perfectamente lo que mi intuición me muestra.

Este fenómeno se conoce como **Ley cuadrática-cúbica**, y aunque se relaciona con la percepción visual y la perspectiva, su origen es puramente geométrico y matemático. La ley no explica directamente la percepción, sino las relaciones físicas entre longitud, superficie y volumen. La **percepción visual** es una consecuencia interpretativa.

**En dos dimensiones domina la relación cuadrática del área; en tres dimensiones aparece además la relación cúbica del volumen.**

Descrita por **Galileo Galilei** en 1638, <sup>i</sup> esta regla geométrica tiene un impacto enorme en la física, la biología y la ingeniería.

## Ley cuadrática-cúbica

La Ley cuadrática-cúbica es un principio matemático y geométrico que explica cómo cambian las propiedades de un objeto cuando cambia su tamaño. El núcleo de esta ley es que cuando escalamos algo, su longitud, su área de superficie y su volumen no crecen ni disminuyen al mismo ritmo. Mientras que el largo cambia de forma lineal, la superficie cambia al cuadrado y el volumen cambia al cubo.

### Efecto en el arte tridimensional y la percepción

Al reducir una escultura a la mitad de su altura, la percepción visual nos dice que parece tener la tercera parte de su tamaño original o incluso menos. Podríamos decir, de manera intuitiva, que nuestra percepción combina la pérdida de superficie visible con la pérdida de masa aparente.

Si reducimos las dimensiones lineales a la mitad (50%), el área proyectada en nuestra retina disminuye al cuadrado, es decir, ocupa solo la cuarta parte (25%) del espacio visual anterior. Al mismo tiempo, el volumen y el peso de la escultura disminuyen al cubo, por lo que la pieza pequeña tendrá apenas una octava parte (12.5%) de la masa original. Esta pérdida masiva de cuerpo es lo que confunde a nuestra intuición y nos hace percibir la obra como algo mucho más diminuto que una simple mitad.

### Propiedades tridimensionales del objeto

Al usar una varilla de 1/4" para la escultura pequeña y de 1/2" para la grande, duplico el diámetro. Según la ley, el volumen (y el peso) crecen al cubo:  $2^3 = 8$ . Esto significa que **la escultura grande no es el doble de pesada que la pequeña; es, increíblemente, ocho veces más pesada.**

Inversamente, la escultura pequeña tiene solo **1/8** del volumen de la grande. Esa diferencia masiva de cuerpo es lo que hace que tu cerebro la perciba como algo mucho más diminuto que una mitad.

La escultura grande ocupa **cuatro veces más área** en tu campo de visión que la pequeña. Al ver que la pequeña solo cubre el **25%** de la superficie visual de la mayor, la sensación de escala se desploma.

## Estabilidad (resistencia vs. peso)

Las dos maquetas se sostienen sólidamente. Esto es fascinante por lo siguiente: La **fuerza** de la varilla (su sección transversal) crece al cuadrado ( $L^2$ ). El **peso** que debe sostener crece al cubo ( $L^3$ ).

En la escala actual (pulgadas), el hierro es tan resistente que el problema no se nota. Pero si decidiera hacer esa misma escultura de **10 metros de altura** manteniendo las proporciones, llegaría un punto en que la Ley cuadrática-cúbica ganaría: el peso crecería tanto que las varillas de la base se doblarían como mantequilla.

**En resumen.** ves la escultura pequeña como "la tercera parte" porque tu cerebro está promediando la pérdida de superficie ( $1/4$ ) y la pérdida de volumen ( $1/8$ ). La técnica de **soldadura** o doblado fue mucho más difícil en la grande debido a esa resistencia extra.

La **Ley cuadrática-cúbica** es fundamental en ingeniería, arquitectura, aviación, la biología y otras disciplinas, porque explica por qué no podemos simplemente "escalar" algo hacia arriba o hacia abajo sin que sus propiedades físicas cambien drásticamente.

## El mundo bidimensional: Pintura y murales

La **Ley cuadrática-cúbica** es un principio físico-matemático que describe la relación entre el área y el volumen a medida que aumenta el tamaño de un objeto. Sin embargo, su aplicación cambia cuando pasamos de un mundo tridimensional a un plano bidimensional como el de un lienzo o una pared. **El factor cúbico desaparece:** la ley se "simplifica" a una **Ley cuadrática** a secas.

En una pintura solo existen dos dimensiones: longitud y área. El área crece al cuadrado: Si decides imprimir esa misma pintura al doble de su tamaño original, el área de la pintura se cuadruplica. Necesitarás cuatro veces más pintura para cubrir la superficie.

En sentido contrario, si haces una pintura y luego la copias en la mitad de tamaño (alto y ancho), tu ojo percibirá un cuarto del área original.

Aquí es donde la **geometría** y la **percepción visual** se separan. Visualmente, nuestro cerebro tiende a juzgar el "tamaño" de un objeto por la **superficie total** que ocupa en nuestro campo de visión, no solo por su altura.

Si quieres que el espectador sienta que la pintura tiene la mitad del impacto visual, deberías reducir la longitud solo un 30% aproximadamente.

Esta es la razón por la cual, en impresión o diseño gráfico, un cambio que parece "pequeño" en las dimensiones (como pasar de una foto de 10x10 a una de 20x20) resulta en un consumo de tinta cuatro veces mayor, no el doble.

### El cálculo técnico para muralistas

Quizás alguna vez calculaste mal la pintura o el material para algo pensando que sería "el doble" y terminó sobrando o faltando mucho. Cuando un muralista escala un boceto para llevarlo a una pared gigante, el cálculo del material no es lineal sino exponencial.

**Si la pared es 10 veces más larga que el dibujo original, la superficie a cubrir será 100 veces mayor** (10 al cuadrado). Para calcular la pintura real, los artistas determinan el área total del muro, evalúan el porcentaje de espacio que ocupa cada color. Si el 30% del mural es azul, calculan el 30% del área total. Luego

dividen esa superficie entre el rendimiento que ofrece el fabricante, que suele ser de 8 a 10 m<sup>2</sup> por litro.

**Si la pared tiene mucha textura** (es rugosa o de ladrillo), **el artista debe añadir un margen de error del 20-30%**. Esto es porque la pintura debe entrar en los huecos, consumiendo más cantidad que una superficie lisa.

**En resumen:** Un muralista siempre piensa en **metros cuadrados**, sabiendo que, si duplica el tamaño de su obra, el gasto de material se le multiplicará por cuatro.

## Arquitectura: Los límites del tamaño

De acuerdo a la Ley cuadrática-cúbica, el desequilibrio entre el crecimiento del área y del volumen es la razón por la que no se puede agrandar o encoger una estructura sin modificar su diseño básico.

**En arquitectura, si construimos un edificio exactamente igual a otro, pero al doble de su altura, el peso total de la estructura se multiplicará por ocho, pero la resistencia de las columnas de soporte solo aumentaría cuatro veces.** Esto se debe a que la fuerza depende directamente del área de la sección transversal de los pilares. <sup>ii iii</sup>

De manera que, si no cambias el diseño y solo escalas el tamaño, el edificio colapsaría bajo su propio peso. Necesita estructuras proporcionalmente más anchas en la base.

Las Pirámides de Giza y los Zigurats, son el ejemplo primitivo perfecto. Al distribuir el volumen masivo de piedras en una base exponencialmente más grande que la punta, el peso se transfiere de manera segura al suelo sin necesidad de columnas internas avanzadas. <sup>iv</sup>

The Shard (Londres) o el Transamerica Pyramid (San Francisco), son rascacielos modernos que reinterpretan la pirámide. Su forma cónica o piramidal reduce drásticamente el peso en los niveles superiores y ensancha la sección transversal en la base, justo donde las fuerzas de compresión y del viento son mayores.

La Torre Eiffel es la referencia maestra. En lugar de ser un pilar de metal sólido (que colapsaría por su propio peso), utiliza una red de hierro forjado entrelazado. Mantiene un área visual y estructural enorme, pero con un volumen real de material sumamente bajo.

## Biología: Los límites del tamaño

En el fascinante mundo de la biología, la Ley cuadrática-cúbica actúa en la misma forma que en la arquitectura.<sup>v</sup> De acuerdo a los científicos, **el tema es fuerza vs peso**. Si una hormiga tuviera el tamaño de un ser humano, sus patas no resistirían el peso y se quebrarían: su masa corporal excedería la capacidad de soporte de su exoesqueleto. De igual forma, un elefante no puede brincar como un conejo porque su peso es muy voluminoso en relación con sus huesos y músculos.

La **temperatura** es otro factor que los estudiosos consideran importante. Animales pequeños como la musaraña, pierden calor muy rápido. Esto sucede porque su superficie es muy grande en relación con su pequeño volumen. Por eso deben comer constantemente para mantener su temperatura.

La ballena azul, la criatura más grande que existe, puede alcanzar 33 metros de largo y un peso de 180 toneladas. El animal terrestre más grande hoy es el elefante africano, cuyo peso puede superar las 6 toneladas.

**Diversas investigaciones científicas establecen que el límite biológico para los animales terrestres se situaría en las 110 toneladas.** Coincidiendo con esta estimación, el dinosaurio terrestre más pesado encontrado fue el *Argentinosaurus winculensis*. Se estima que pesaba entre 90 y 100 toneladas y llegaba a medir unos 35 a 40 metros de largo.

El monstruo marino más grande que vivió durante la era de los dinosaurios fue el ictiosaurio *Ichthyotitan severnensis*. Científicos y paleontólogos estiman que alcanzó entre 25 y 26 metros de longitud, un tamaño similar al de una ballena azul actual.<sup>vi</sup>

Aunque generalmente se les clasifica como dinosaurios marinos, eran reptiles marinos gigantes pertenecientes al grupo de los ictiosaurios (animales con aspecto similar a los delfines).

La industria cinematográfica ha popularizado muchas bestias prehistóricas, reales o ficticias.

**¿Por qué nunca verás a Godzilla sobre la tierra?** Este es el título de un interesante reportaje realizado por Rubén Badillo para National Geographic. Observando las películas de este colosal monstruo, el autor estima su altura en 130 metros y su peso en 100,000 toneladas. Estas dimensiones rebasan la lógica biológica terrestre. "Sus piernas tendrían que ser tan anchas para sostener su cuerpo que no podría caminar de manera eficiente" — explicó en una entrevista en Live Science la profesora en paleontología Felisa Smith.

El tiranosaurio rex medía hasta 12 a 13 metros de longitud. Su peso oscilaba entre las 6 y las 9 toneladas, equivalente al de un gran elefante africano.

El mosasaurio de la especie *Mosasaurus hoffmannii*, llegó a alcanzar una longitud entre los 15 y 18 metros de largo, y un peso entre 15 y 20 toneladas.

El tiburón más grande que ha existido, el megalodón (*Otodus megalodon*), medía entre 15 y 24 metros de longitud y alcanzaba un peso estimado de 50 a 94 toneladas.

## Aplicación en la aviación y aerodinámica

**En aviación, la Ley cuadrática-cúbica es crítica porque define la aerodinámica;** específicamente, cómo el aire golpea al avión a medida que este acelera. Funciona principalmente bajo esta regla: **"Si duplicas la velocidad, las fuerzas se cuadruplican"**.<sup>vii</sup>

### 1. La sustentación (lo que te mantiene arriba)

La fuerza que levanta al avión depende del cuadrado de la velocidad. Si un avión acelera de 100 km/h a 200 km/h (el doble de velocidad), la sustentación se vuelve **cuatro veces mayor**.

Esto explica por qué los aviones pueden despegar: necesitan alcanzar una velocidad mínima para que la Ley cuadrática-cúbica genere suficiente fuerza hacia arriba para vencer el peso, que es constante.

### 2. La resistencia (lo que te frena)

Aquí es donde la ley se vuelve un reto. El aire se opone al movimiento del avión también de forma cuadrática. Si quieres volar al **doble de velocidad**, el aire te empujará hacia atrás con **cuatro veces más fuerza**.

Para vencer esa resistencia, el motor tiene que trabajar mucho más. Para ir al doble de velocidad, necesitas **ocho veces más potencia** (porque aquí entra la relación con el cubo para la energía).

### 3. Carga de las alas y estructura

La Ley cuadrática-cúbica afecta la estructura: Si haces un avión el doble de grande en dimensiones, sus alas tendrán **cuatro veces más superficie** (Ley cuadrática), pero el avión pesará **ocho veces más** (Ley cuadrática-cúbica). Por eso, aviones gigantes como el Airbus A380 necesitan alas desproporcionadamente grandes en comparación con una avioneta pequeña. De lo contrario, el peso (volumen) ganaría la batalla y el avión no podría despegar.

**En resumen**, en aviación, la velocidad es el factor crítico. Cada vez que el piloto acelera un poco, las fuerzas físicas en las alas responden de forma **cuadrática**.

## Perspectiva de importancia vs Ley cuadrática-cúbica



Obra: *El Juicio final* (fragmento, *Cristo juez*). Capilla Sixtina. Miguel Ángel. 1541.

En mis seminarios sobre **Composición en el arte**, clasifico la diferencia de tamaño entre *Cristo juez* y la Virgen María de esta obra **como perspectiva de importancia**, una de las tantas modalidades de perspectiva que existen.

Tal y como lo hemos estudiado, nuestra percepción visual depende del área que un objeto ocupa en nuestra retina. Al reducirse la superficie visual a una **cuarta**

**parte** (y no a la mitad), nuestro cerebro interpreta que el objeto es significativamente más pequeño de lo que dictaría solo la medida de su altura.

En esta obra maestra de Miguel Ángel, entramos en un terreno fascinante donde la geometría se encuentra con lo que podríamos llamar el **engaño visual**.

Aunque *El Juicio final* está pintado sobre una pared plana (el testero del altar) y no sobre una cúpula, la superficie tiene una ligera inclinación hacia adelante en su parte superior, en teoría, para evitar que se acumule polvo y para mejorar la visibilidad. Aprendamos cómo interactúan estas leyes: <sup>viii</sup>

### 1. Aplicación de la Ley cuadrática (la superficie).

Miguel Ángel lidió con la **Ley cuadrática** de forma muy práctica, en dos aspectos:

- 1. Escalamiento de figuras:** El fresco es inmenso. Si Cristo mide el doble que una figura de la parte inferior, ocupa **cuatro veces más área**.
- 2. Deformación por altura:** Como el espectador está muy abajo, las figuras de la parte superior se verían más pequeñas por la distancia. Para compensar esto y mantener la **perspectiva de importancia**, Miguel Ángel pintó a Cristo y a los personajes superiores a una escala mucho mayor. No es solo importancia jerárquica. Es un ajuste matemático para que, al verlos desde abajo, el área proyectada en tu ojo se sienta "correcta".

### 2. Aplicación de la Ley cuadrática-cúbica (la ilusión de volumen).

Aquí es donde Miguel Ángel, podríamos decir que se las ingenia para "hace trampa". La Ley cuadrática-cúbica físicamente no existe en el fresco, que es plano. Pero él era, ante todo, **escultor**. Utiliza el claroscuro para simular que los cuerpos tienen masa y volumen.

Visualmente, nos hace creer que, si Cristo creciera al doble, su peso (volumen) aumentaría **ocho veces**. Esa sensación de "pesadez" y potencia física en sus figuras musculosas es su forma de representar la Ley cuadrática-cúbica en un mundo de dos dimensiones. El resultado es una sensación de fuerza corporal, peso simbólico y monumentalidad.

### 3. Relación con la perspectiva

La obra encaja en la clasificación de **perspectiva de importancia**, pero en esta obra se mezcla con la **perspectiva anamórfica** (ajuste por el ángulo de visión). Consideremos las siguientes características:

- **Jerarquía vs. óptica:** Cristo es el centro de la composición. Tal parece que Miguel Ángel usa la Ley cuadrática para darle un área masiva que domine visualmente, asegurando que su importancia sea física y no solo simbólica.

- **Compensación de profundidad:** Al estar en una pared tan alta, la distancia desde el ojo del espectador hasta la parte superior es mayor que hasta la base. Si hubiera pintado a todos del mismo tamaño, Cristo se vería diminuto. Al agrandar el área (Ley cuadrática), anula el efecto de la distancia.

**En resumen:** Podemos concluir que Miguel Ángel usa la Ley cuadrática para amplificar la escala y la perspectiva de importancia, mientras usa su talento como pintor para fingir una Ley cuadrática-cúbica (volumen) que les da a los cuerpos esa fuerza divina y monumental.

## Conclusiones

La Ley cuadrática-cúbica es mucho más que una curiosidad matemática. Es una de las reglas fundamentales que gobiernan la forma en que el mundo físico está construido. Nos enseña que cuando un objeto cambia de tamaño, sus propiedades no cambian de manera proporcional. La longitud crece linealmente, la superficie al cuadrado y el volumen al cubo. Esta sencilla observación tiene consecuencias profundas que afectan prácticamente todos los campos del conocimiento.

El origen de este estudio surgió de una experiencia artística. Al comparar dos maquetas de una misma escultura, observé que la pieza pequeña parecía mucho más reducida de lo que indicaban sus dimensiones reales. Lo que inicialmente parecía una simple impresión subjetiva resultó ser la manifestación visible de una ley geométrica descrita por Galileo hace casi cuatro siglos. La matemática confirmó aquello que la intuición percibía.

A lo largo de estas páginas hemos visto que la Ley cuadrática-cúbica explica por qué las esculturas monumentales requieren soluciones estructurales distintas a las de una maqueta; por qué los muralistas calculan sus materiales en metros cuadrados y no en simples longitudes; por qué los edificios no pueden crecer indefinidamente sin modificar sus sistemas de soporte; por qué existe un límite para el tamaño de los animales terrestres; y por qué la aviación depende de relaciones matemáticas aparentemente invisibles para el observador común.

También hemos comprobado que esta ley tiene una dimensión estética. Nuestra percepción visual responde con gran sensibilidad a los cambios de superficie y volumen. Por ello, una diferencia aparentemente pequeña en las dimensiones de un objeto puede producir una sensación visual mucho más intensa. Artistas como Miguel Ángel comprendieron intuitivamente estos principios y los utilizaron para amplificar la monumentalidad y la importancia simbólica de sus figuras.

Quizás la enseñanza más importante sea que la naturaleza no escala de manera simple. Todo crecimiento implica nuevas condiciones, nuevas limitaciones y nuevos desafíos. Lo que funciona en una escala puede fracasar en otra. Una maqueta no es simplemente una versión pequeña de un monumento; una hormiga no es un elefante en miniatura; un rascacielos no es una casa multiplicada; un avión gigante no es una avioneta agrandada.

La Ley cuadrática-cúbica nos recuerda que el tamaño importa. Pero más importante aún, nos recuerda que detrás de la aparente complejidad del universo existen principios matemáticos elegantes capaces de unir disciplinas tan distintas como el arte, la ingeniería y la biología. Comprender estas relaciones no solo amplía nuestro conocimiento científico; también nos permite observar el mundo con mayor asombro. Después de todo, una de las mayores virtudes de la matemática es que tiene la capacidad de revelar el orden oculto que se encuentra detrás de las cosas que vemos todos los días.

## Referencias

---

- <sup>i</sup> <https://cienciaoficcion.com/la-ley-cuadratico-cubica-o-por-que-el-tamano-si-importa/>
- <sup>ii</sup> <https://www.linkedin.com/pulse/el-buen-dise%C3%B1o-la-escala-gino-rubio-arnaldo/>
- <sup>iii</sup> [https://www.reddit.com/r/explainlikeimfive/comments/3ojnwb/eli5\\_square\\_cube\\_law/?tl=es-419](https://www.reddit.com/r/explainlikeimfive/comments/3ojnwb/eli5_square_cube_law/?tl=es-419)
- <sup>iv</sup> <https://cafedelasciudades.com.ar/articulos/el-cubo-y-la-arquitectura-de-formas-puras/>
- <sup>v</sup> [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ley-cubo-cuadrado-galileo-galilei-o-como-explicarle-a-tus-hijos-que-no-tengan-miedo-godzilla\\_27691](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ley-cubo-cuadrado-galileo-galilei-o-como-explicarle-a-tus-hijos-que-no-tengan-miedo-godzilla_27691)
- <sup>vi</sup> [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/este-ictosaurio-podria-ser-mayor-animal-marino-historia\\_22132](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/este-ictosaurio-podria-ser-mayor-animal-marino-historia_22132)
- <sup>vii</sup> Aerodinámica Aeronaves: Conceptos & Teoría | StudySmarter
- <sup>viii</sup> Giorgio Vasari – ***Las vidas de los más excelentes pintores, escultores y arquitectos*** (1550/1568)