



# GEA

## Carpeta Técnica PROYECTO GEA

7mo 1ra Comisión B  
Año 2024

Dominguez Plankenhorn, Mirko Joaquin  
Giampaolo, Leandro Tomas  
Morganti, Santiago  
Rodriguez Vanini, Tobias Ezequiel  
Sipaczenko, Gregorio  
Sosa, Gustavo Ariel



# Índice general

<b>1</b>	<b>Exordio</b>	<b>2</b>
1.1	Integrantes	2
1.2	Medios de contacto	4
1.3	Agradecimientos	4
<b>2</b>	<b>Introduccion</b>	<b>6</b>
2.1	¿Qué es PROYECTO GEA?	6
2.2	Impacto esperado	6
2.2.1	Impacto local	6
2.2.2	Impacto continental y mundial	6
2.3	Ventajas	6
2.4	Estado del Arte	7
<b>3</b>	<b>Fundamentos</b>	<b>8</b>
3.1	Conceptos previos	8
3.1.1	Lagrangiano	8
3.1.2	Teorema de Noether	8
3.1.3	Ley de Conservación de la Energía	9
3.1.4	Fuerza electromotriz	9
3.1.5	Flujo magnético	9
3.2	Ley de Faraday	9
<b>4</b>	<b>Estructura y composición</b>	<b>11</b>
4.1	Hélice	11
4.1.1	El número áureo	11
4.1.2	El rectángulo áureo	11
4.1.3	La espiral dorada	13
4.1.4	La sucesión de Fibonacci	14

# Capítulo 1

## Exordio

### 1.1. Integrantes



Mirko Joaquin Dominguez Plankenhorn

DNI: 47119776

Mail: mirkojdominguez@gmail.com



Leandro Tomas Giampaolo

DNI: 46909172

Mail: leangiampaolo@gmail.com



Santiago Morganti

DNI: 46822132

Mail: santimorganti8@gmail.com



Tobias Ezequiel Rodriguez Vanini

DNI:

Mail: rodriguezvaninieze2@gmail.com



Gregorio Sipaczenko

DNI:

Mail: gregorysipa@gmail.com



Gustavo Ariel Sosa

DNI: 46898131

Mail: sosagustavoar@gmail.com

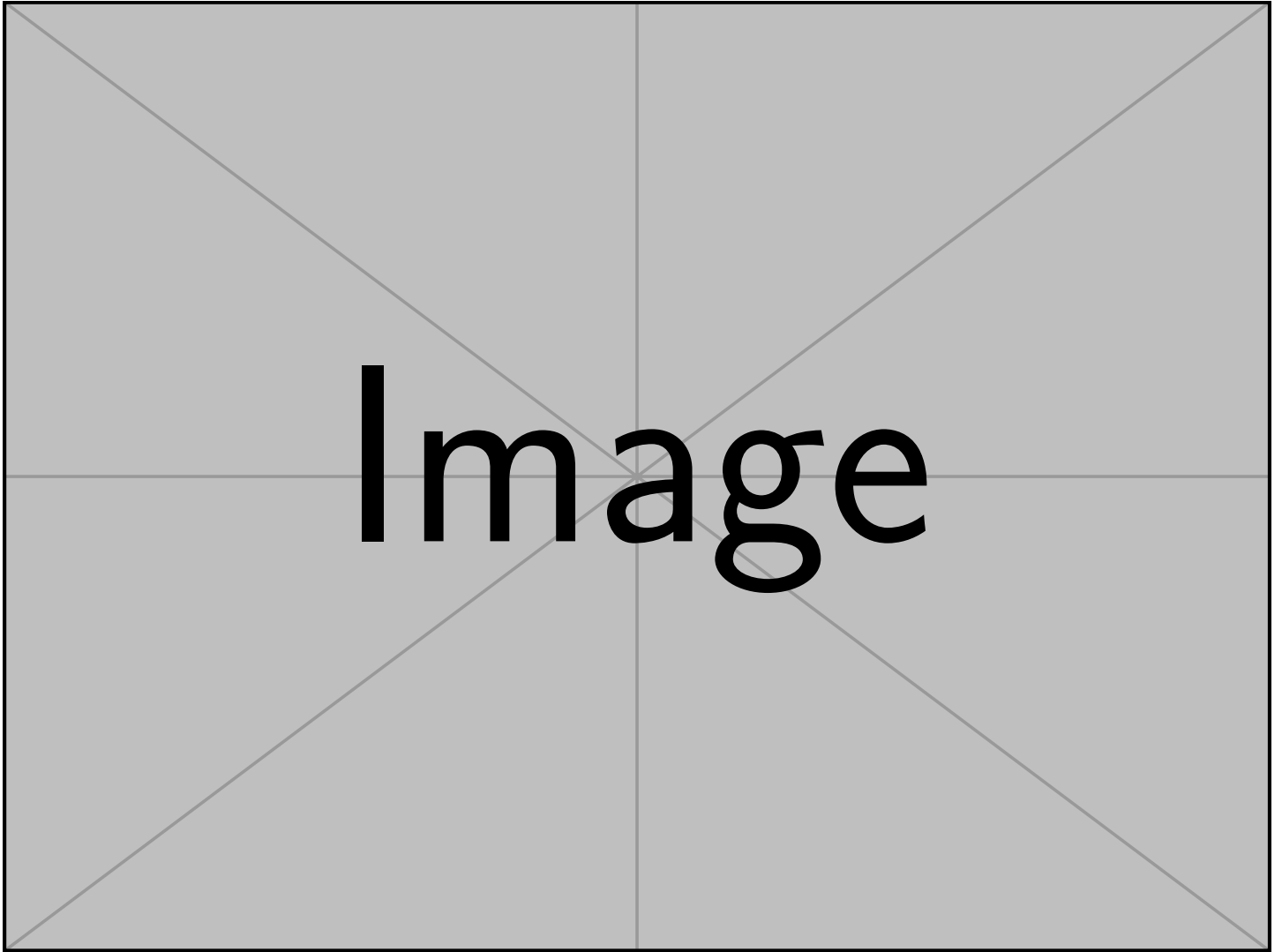


Figura 1.1: Los miembros del equipo **GEA**.

## 1.2. Medios de contacto

Mail de contacto: [@contacto.gea.impa@gmail.com](mailto:@contacto.gea.impa@gmail.com)

Cuenta de Instagram: [@proyecto.gea.24](https://www.instagram.com/proyecto.gea.24)

Página Web: [Web Oficial del PROYECTO GEA](#)

Repositorio Oficial de GitHub: [Gea-Proyecto](#)

## 1.3. Agradecimientos

A los profesores a cargo de nuestras horas de trabajo:

- Carlassara, Fabrizio.
- Medina, Sergio.
- Bianco, Carlos.
- Argüello, Gabriel.
- Palmieri, Diego.

A los profesores que colaboraron en torno al progreso del proyecto:

- Lima, Gabriel.
- Solomiewicz, Nicolas.
- Claramunt, Diego.
- Scicolone, Julian Patricio.<sup>°°</sup>

A la Asociación Cooperadora del IMPA;

A la Fuerza Aérea Argentina por la donación de una batería;

A todos aquellos medios de difusión ya sea radial, virtual o cualquier otro medio, por el apoyo brindado al proyecto;

Al personal docente y no docente de la institución por su vital colaboración.

# Capítulo 2

## Introduccion

### 2.1. ¿Qué es PROYECTO GEA?

**PROYECTO GEA** consiste en una turbina eólica altamente eficiente cuyo comportamiento responde a la forma de sus tres aspas, las cuales conforman una espiral. Asimismo, la turbina cuenta con una aplicación diseñada para el seguimiento de sus parámetros de funcionamiento.

Se conoce genéricamente como **turbina** a una turbomáquina que se ve atravesada por un fluido, el cual inscribe una fuerza tangencial sobre su rotor (generalmente acompañado de **aspas**), provocando el movimiento de su eje para la posterior conversión de la energía cinética resultante en la energía que se desee.

En lo que respecta a la aplicación de seguimiento de sus parámetros, se trata de un programa de Microdot escrito mayoritariamente en lenguaje C, JavaScript, CSS, entre otros, que se encarga de obtener y mostrar los datos que el usuario pueda necesitar, como la velocidad de giro, la tensión entregada, etcétera.

### 2.2. Impacto esperado

#### 2.2.1. Impacto local

Argentina posee algunas de las condiciones climáticas más favorables de Latinoamérica en lo que se refiere al aprovechamiento de los vientos, ya que cuenta con dos de las cinco ciudades más ventosas del mundo: Río Gallegos y Ushuaia. A pesar de que estas ciudades son sin lugar a dudas las más idóneas para la utilización del generador, en provincias como Buenos Aires o La Pampa, los vientos a lo largo del año promedian entre los 21 y los 28 km/h, una velocidad más que suficiente para que prolifere nuestro generador.

#### 2.2.2. Impacto continental y mundial

**PROYECTO GEA** es la primer turbina con forma de espiral áurea del continente americano, una de las primeras en el mundo en ser llevada a cabo, y tiene capacidad de sobra para convertirse en un estandarte de la utilización de la energía eólica de manera accesible en los ambientes urbanos.

La expansión del uso de las energías renovables es crucial para trabajar en conjunto hacia el objetivo planteado en el Acuerdo de París contra el Cambio Climático firmado por 195 países en abril de 2016: Reducir el aumento de temperatura global a un número por debajo de los 1.5°. Lejos de bajar, este número continua en alza desde 2019. Bajo nuestro punto de vista, proyectos como este que faciliten y abaraten el acceso y ayuden a inculcar el uso de energías limpias son cruciales para el progreso en torno a la causa previamente mencionada. En países como Estados Unidos, Brasil o México, que se encuentran en el puesto 2, 7 y 10 respectivamente como los países con más emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo, es vital que se continúe impulsando el uso de energías renovables.

### 2.3. Ventajas

El simple hecho de que **PROYECTO GEA** pueda ser considerado un pionero en la re-imaginación de la energía eólica para los ambientes urbanos hace que la relación entre las ventajas y desventajas que conlleva aplicar el producto sea aplastante. Para enumerar algunas de ellas podemos nombrar:

- Un notable beneficio económico para el consumidor gracias a la reducción de costes, a la generación de ahorro y a la evitación de las elevadas tarifas de los proveedores de energía, sujetas a la variación del precio de los combustibles fósiles.

- Un inmejorable aporte a la crítica situación que respecta al frenado del calentamiento global, eliminando por completo la emisión de gases de efecto invernadero.
- Mejora la calidad del aire y del agua que consumimos y respiramos, reduciendo así sustancialmente las enfermedades provocadas por la contaminación.
- Descentraliza el mercado de las energías renovables, planteando una novedosa y eficaz alternativa contra las costosas aplicaciones de paneles solares.

## 2.4. Estado del Arte

Actualmente, la única empresa en el mundo que está desarrollando una turbina con la proporción áurea lleva el nombre de [Liam F1 Archimedes](#). A pesar de que su nombre pueda apuntar a que se trata de una espiral de Arquímedes y no una espiral dorada, su nombre se debe en realidad a un guiño al [Tornillo de Arquímedes](#), que tiene una forma similar.



Figura 2.1: Una turbina Liam F1 Archimedes.



# Capítulo 3

## Fundamentos

### 3.1. Conceptos previos

El punto focal de funcionamiento de una turbina es la conversión de energía cinética a mecánica. En nuestro caso empleamos la energía eólica, y la forma en la que la máquina logra convertir dicha energía es a través del movimiento de una serie de aspas, palas o cuchillas conectadas a un rotor, a las cuales se le imprime una fuerza tangencial producto del empuje del viento.

Esta fuerza tangencial hace que el rotor gire, habilitándolo a aprovecharse de una de las tantas formas del **Principio de Conservación de la Energía**, en forma de dos leyes: la **Ley de Lenz** y la **Ley de Faraday**.

Antes de hincar en la explicación de dichas leyes, es necesario contar con una serie de conocimientos previos, detallados a continuación.

#### 3.1.1. Lagrangiano

Un Lagrangiano es una función escalar confeccionada para representar una gran cantidad de importantes propiedades de un sistema dinámico, como su evolución en el tiempo; se trata de la forma más cómoda y completa de realizar este análisis. Lo que se suele hacer es, para un sistema concreto, establecer coordenadas generalizadas y normalizar los parámetros estudiados, afín de observar el comportamiento del sistema bajo estas condiciones, y para ser más específico, las variaciones visibles. En caso de que no haya variaciones en alguno de los parámetros al aplicarse las condiciones normalizadas, se ha hallado una **simetría continua**. En lo que compete al tema tratado en este documento, lo que se busca es exactamente eso: hallar simetrías, lo cual indica que se cumple el **Teorema de Noether**.

#### 3.1.2. Teorema de Noether

El Teorema de Noether expresa que en un sistema físico, cualquier simetría que pueda hallarse se corresponde con la constancia de una magnitud de dicho sistema, es decir, se corresponde con alguna de las leyes de conservación. Se llega a esta conjetura relacionando dos pilares de la física: la independencia de la forma de una ley física de cualquier transformación que preserve el sistema de coordenadas, y la otra es la ley de conservación de una magnitud física.

En este caso específico, al aplicar el Teorema de Noether al lagrangiano del sistema, se podrá hallar que el mismo es independiente al valor del **tiempo**, indicando que existe conservación de la energía. Dicha asunción nace del siguiente desarrollo.

Partiendo desde el siguiente Lagrangiano invariable temporalmente:

$$L = (q_i, \dot{q}_i, t) = (q_i, \dot{q}_i) \quad (3.1)$$

siendo

- $L$  = Lagrangiano
- $q_i$  = Coordenadas generalizadas al  $i$ -ésimo grado de libertad del sistema.
- $\dot{q}_i$  = Velocidades generalizadas al  $i$ -ésimo grado de libertad del sistema
- $i$  = Grados de libertad del sistema (es decir, puede tomar un valor entre 1 e  $i$  grados de libertad)

De este lagrangiano se obtiene:

$$\frac{\partial L}{\partial t} = 0 \quad (3.2)$$

Ya que existe una constancia, es decir, una invariancia con respecto a un parámetro del sistema, cuando se aplica el Teorema de Noether se puede determinar que existe energía conservada. Dicha energía se expresa como:

$$E = \sum_i \dot{q}_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - L \quad (3.3)$$

donde  $E$  es la cantidad de energía conservada, y recibe el nombre de **Energía de Lagrange**.

Posteriormente, se deriva  $E$  con respecto al tiempo y se aplica un mecanismo para simplificar el sistema y evaluar la evolución del lagrangiano en el tiempo, llamado **Ecuaciones de Euler-Lagrange**. Así, obtengo:

$$\frac{dE}{dt} = 0 \quad (3.4)$$

De esta forma, se entiende que si la variación a lo largo del tiempo (determinada por la derivación) es igual a cero, la Energía de Lagrange es constante en el tiempo, lo que se traduce en la **Ley de Conservación de la Energía**.

### 3.1.3. Ley de Conservación de la Energía

Cuando hablamos de mecánica clásica, uno de sus pilares es la Ley de Conservación de la Energía. La misma dicta que, en un sistema aislado, la energía no se **crea** ni se **destruye**, sino que solo se **transforma**.

Es sobre este mismo principio que se amparan las energías renovables hoy disponibles en el mundo; se trata de artilugios que aprovechan las fuerzas generadas por un tipo de energía disponible eternamente para humanidad y la convierten en otro, generalmente siendo este otro la energía eléctrica.

El método de conversión de energía mecánica a eléctrica comúnmente utilizado en sistemas como **turbinas**, consta del uso de dos leyes que nacen del Principio de Conservación de la Energía: la **Ley de Lenz** y la **Ley de Faraday**.

### 3.1.4. Fuerza electromotriz

En materia de electromagnetismo, se conoce con el incorrecto nombre de **Fuerza electromotriz** (*fem*) al fenómeno de inducción eléctrica producido por una fuente no eléctrica medido en voltios. Si bien dicho fenómeno puede ser producto de la aplicación de fuerzas físicas sobre una carga eléctrica, el nombre de "Fuerza" es una reliquia histórica ocasionada porque ese fue el nombre que Alessandro Volta, su creador, le otorgó al momento de descubrirla. La razón por la que se dice que el fenómeno "puede" ser producto de fuerzas físicas es porque la **Ley de Faraday**, explicada más adelante, dice que la *fem* nace del **movimiento de líneas de campo**, por lo tanto, puede aparecer tanto en casos en los que a través de fuerzas físicas se mueva el inductor que genera el campo como en casos en los que el inductor no se mueva pero su campo sea variable.

### 3.1.5. Flujo magnético

Se conoce con el nombre de **Flujo magnético** y la letra  $\phi$ , a la medida de cantidad de magnetismo, es decir, la interacción magnética (tanto negativa como positiva) en un punto del espacio que es atravesado por un campo. Afín de visualizarlo, puede decirse que el flujo magnético es proporcional a la cantidad neta de líneas de campo que atraviesen en cualquier sentido, sumándose y restándose aquellas con dirección opuesta. Los componentes que constituyen el valor de  $\phi$  son la cantidad de líneas de campo que atraviesan un punto, la superficie sobre la cual actúan dichas líneas y el ángulo de incidencia de estas líneas de campo en el punto contemplado.

## 3.2. Ley de Faraday

La Ley de Faraday es una ecuación que describe que el valor de *fem* en un circuito cerrado es directamente proporcional al cambio a lo largo del tiempo del flujo magnético.

Otro nombre que recibe la Ley de Faraday es **Ley de Faraday-Lenz**, puesto que ambas leyes van muy de la mano a la hora de explicar el funcionamiento de los generadores eléctricos. Lo que dicta la Ley de Lenz es que la polaridad de la *fem* en un conductor a causa de la variación de flujo magnético en el tiempo producirá una corriente y por consecuencia un campo magnético, el cual se opondrá siempre a las variaciones de la corriente que lo generó. Teniendo estas dos leyes en cuenta, podemos establecer las siguientes fórmulas:

Para describir el valor de flujo de campo magnético en movimiento:

$$\phi = \int_{\vec{S}} \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (3.5)$$

siendo

- $\phi$  = Flujo magnético, medido en  $Wb$ (weber)
- $\vec{S}$  = Superficie definida por el conductor.
- $\vec{B}$  = Inducción magnética, medida en  $T$ (tesla)

Por lo tanto, según las leyes descrita en este apartado, la tensión inducida  $\varepsilon$  será igual a:

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (3.6)$$

donde el signo negativo ( $-$ ) en la fórmula será la representación de la oposición al cambio de  $\phi$  establecida en la Ley de Lenz,  $N$  será la cantidad de espiras del conductor y  $\frac{d\phi}{dt}$  la variación de flujo magnético en el tiempo.

Una vez asentados los conceptos previos, se torna una tarea simple comprender los principios que dan lugar a nuestro proyecto. La producción de energía de una turbina eólica es en su totalidad debida al Principio de Conservación de la Energía; cuando una corriente de viento la atraviesa, una serie de aspas conectadas a un rotor comienzan a girar a causa de la fuerza tangencial impresa por la resistencia aerodinámica. Al final de dicho rotor hallamos una serie de bobinas, que con su giro inducen en las bobinas de otro componente, el **estator**, una corriente por Ley de Faraday. Finalmente, la corriente eléctrica generada es transmitida hacia una batería, cargándola.

## Capítulo 4

# Estructura y composición

### 4.1. Hélice

Para poder determinar y finalmente concretar la idea principal del proyecto que decidiéramos llevar a cabo a lo largo del año, el inicio cualquier tipo de desarrollo fue precedido por una intensa investigación, la cual nos llevó a dar con el concepto perfecto. Además de nuestra fascinación con las energías sostenibles, hallamos (y probamos) modelos de turbinas increíblemente novedosos que no estaban siendo desarrollados en nuestro lado del mundo, por lo que nuestros primeros encuentros con las llamadas **Turbinas de Fibonacci** representaban una modernidad que estábamos totalmente dispuestos a adoptar. A lo largo de todo nuestro desempeño escolar, dada la elección que tomamos a la hora de continuar con el camino de la educación secundaria, nos vimos rodeados de aeronaves con turbinas convencionales, y aprendimos tanto sus principios de funcionamiento como algunas novedades que se podrían implementar para amplificar su rendimiento. De esta forma, dimos con las turbinas espirales y posteriormente con las que siguen la **espiral dorada**.

#### 4.1.1. El número áureo

El número áureo, comúnmente representado por la letra griega  $\varphi$ , es un concepto matemático que comprende múltiples áreas de las cosas como las conocemos, como pueden ser la arquitectura, el arte o la naturaleza. El número áureo, también llamado razón dorada, se define como la proporción donde la relación entre la suma dos cantidades  $a$  y  $b$  y la cantidad mayor  $a$ , es igual a la relación entre la cantidad mayor y la cantidad menor. Esto se define matemáticamente como:

$$\varphi = \frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} \quad (4.1)$$

Para poder entenderlo mejor, la misma razón puede expresarse de múltiples maneras, por ejemplo, partiendo desde:

$$\varphi = 1 + \frac{1}{\varphi} \quad (4.2)$$

que indica que, partiendo de un segmento en el que se toma una sección mayor  $= \varphi$  y una sección menor  $= 1$ , la relación entre el segmento completo  $= \varphi + 1$  y la parte menor es igual a la proporción entre el segmento mayor y el segmento menor. Por lo tanto, puede determinarse mediante fracciones continuas que:

$$\varphi = 1 + \frac{1}{\varphi} \rightarrow \varphi = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \dots}}} \quad (4.3)$$

incrementando la exactitud cuantas más fracciones se hagan, demostrando así la irracionalidad del número  $\varphi$ .

#### 4.1.2. El rectángulo áureo

Como lo dicta su nombre, un rectángulo dorado es aquel que posee una proporcionalidad entre sus lados igual a la razón áurea. Otro nombre con el que se lo conoce es **Rectángulo de Euclides**, puesto que fue éste quien lo obtuvo y fue capaz de demostrarlo.

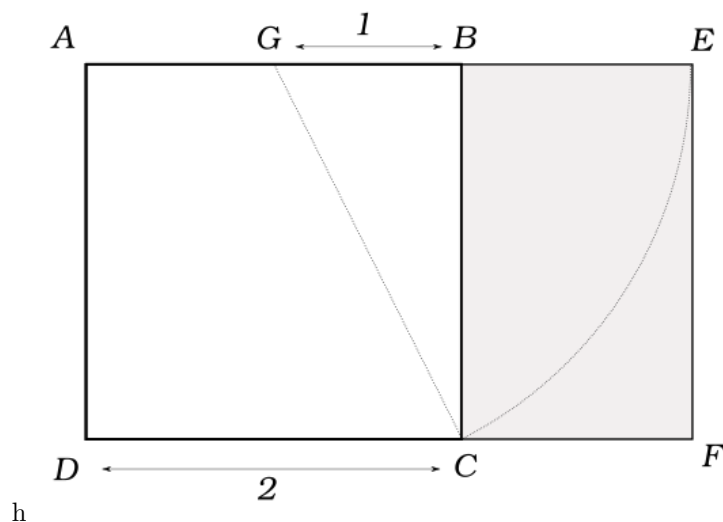


Figura 4.1: El Rectángulo de Euclides.

### Demostración del Rectángulo de Euclides

En la Figura 4.1 pueden apreciarse tres formas:

- El **rectángulo principal**, de vértices  $AEFD$ , lado mayor  $AE$  y lado menor  $AD$ , considerado áureo ya que la razón entre su lado mayor y menor es igual al número  $\varphi$ ;
- El **cuadrado interior**, de vértices  $ABCD$ , cuyos lados son iguales y tienen un valor de dos unidades;
- El **triángulo rectángulo**, de vértices  $GBC$  cuyo vértice  $G$  supone la mitad de la sección  $AB$  del cuadrado, de lados  $GC$  (hipotenusa),  $GB$  (Cateto adyacente al ángulo de referencia) y  $BC$  (Cateto opuesto al ángulo, igual al lado del cuadrado)

Para comenzar, se observa que puede calcularse la longitud de la hipotenusa, aplicando el **Teorema de Pitágoras**:

$$GC^2 = GB^2 + BC^2 = 1^2 + 2^2 = 5 \quad (4.4)$$

por lo tanto se entiende que

$$GC = \sqrt{5} \quad (4.5)$$

A continuación, se prolonga el segmento  $GC$  hasta intersectar la recta  $AE$  en el punto  $E$ , obteniendo que, puesto que  $G$  es el centro del círculo que pasa por  $B$ ,  $C$  y  $E$ , se puede deducir que:

$$GE = GC = \sqrt{5} \quad (4.6)$$

Así, siguiendo la proporción áurea:

$$AE = AG + GE = 1 + \sqrt{5} \quad (4.7)$$

de donde, finalmente:

$$\frac{AE}{AD} = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = \varphi \quad (4.8)$$

que verifica la proporción áurea.

Una propiedad notable de este rectángulo es que, además del rectángulo principal de vértices  $AEFD$ , también existe el rectángulo de vértices  $BEFC$ , que también cumple con la razón dorada. Si se aplica el mismo procedimiento aplicado sobre el rectángulo principal al segundo rectángulo, se verá que se forma un tercer rectángulo de proporciones doradas así como el primero dio lugar al segundo. Si se traza una recta desde los vértices opuestos del rectángulo principal y una desde los vértices opuestos del segundo rectángulo, puede verse que son perpendiculares y se cruzan en un mismo punto: este es el punto de convergencia de la **espiral dorada**.

### 4.1.3. La espiral dorada

La Espiral dorada es una espiral logarítmica originada a partir de una serie de rectángulos dorados. En la ecuación (4.3), se observa una convergencia hacia  $\varphi$ , que es a su vez una de las formas más acertadas de representar el número áureo; cualquier intento de representación con números enteros dará lugar a, en el mejor de los casos, aproximaciones inexactas. Lo que le da forma a esta espiral es una ecuación polar idéntica a las que dan forma a una espiral logarítmica común, pero con el grado de crecimiento  $b = \ln \varphi$

La ecuación que describe la espiral es:

$$r(\theta) = a\varphi^\theta \quad (4.9)$$

siendo

- $r$  = Distancia desde el origen en coordenadas polares;
- $\theta$  = Ángulo en radianes;
- $a$  = Constante que controla el tamaño de la espiral;
- $\varphi$  = En este caso representa la razón de crecimiento y el sentido de la espiral.

Si bien esta es la ecuación que la describe, la manera en la que se construye la espiral es mucho más simple. Como se ha demostrado, al momento de trazar la recta que divide al rectángulo en sus dos secciones cuya proporción es igual a  $\varphi$ , puede verse que debajo de la sección mayor obtengo un cuadrado y debajo de la sección menor obtengo otro rectángulo que cumple con la proporción de oro.

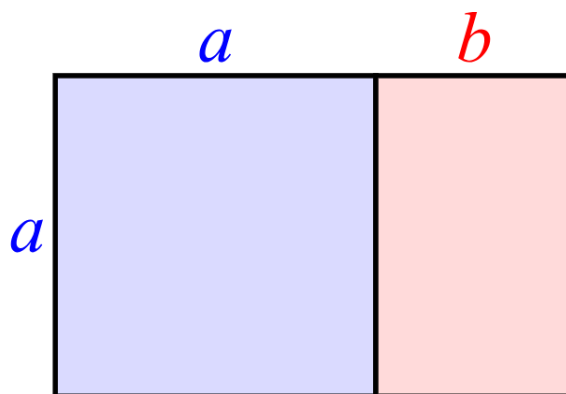


Figura 4.2: El cuadrado está coloreado en azul y el rectángulo secundario, en rojo.

Visto que el rectángulo secundario  $b$ , el rectángulo terciario que se formará cuando éste se divida, y así infinitamente, pueden ser divididos de la misma manera ya que cumplen con la proporción áurea, puedo unir con una circunferencia los vértices opuestos de los infinitos cuadrados debajo de las secciones mayores de cada rectángulo para dar lugar a la siguiente espiral:

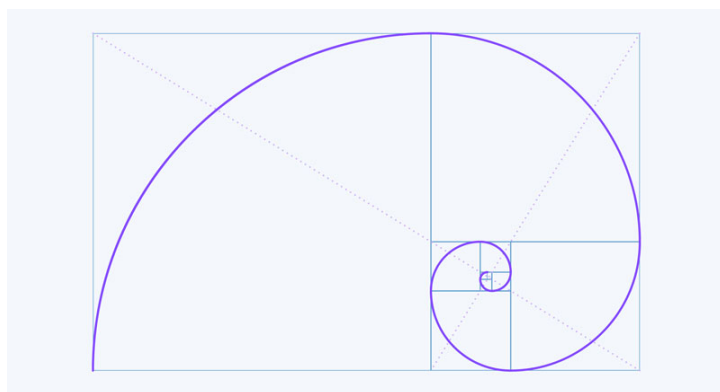


Figura 4.3: La espiral dorada.

#### 4.1.4. La sucesión de Fibonacci

Como ya se ha hecho alusión previamente, los números enteros son una cuando menos inexacta iteración de la razón áurea. Uno de estos ejemplos es la **Sucesión de Fibonacci**, una serie infinita de números naturales compuesta por dos números, los cuales dependiendo de la referencia acostumbran a ser 0 y 1 o 1 y 1, y a partir de estos, cada termino siguiente es igual a la suma de los dos anteriores. Por ejemplo, los primeros veinte términos son:

$$0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584, 4181... \quad (4.10)$$

La particularidad de esta serie es que, por ejemplo, al construir bloques cuya longitud de lado sea igual a los valores de la serie, se forma una aproximación al rectángulo áureo.

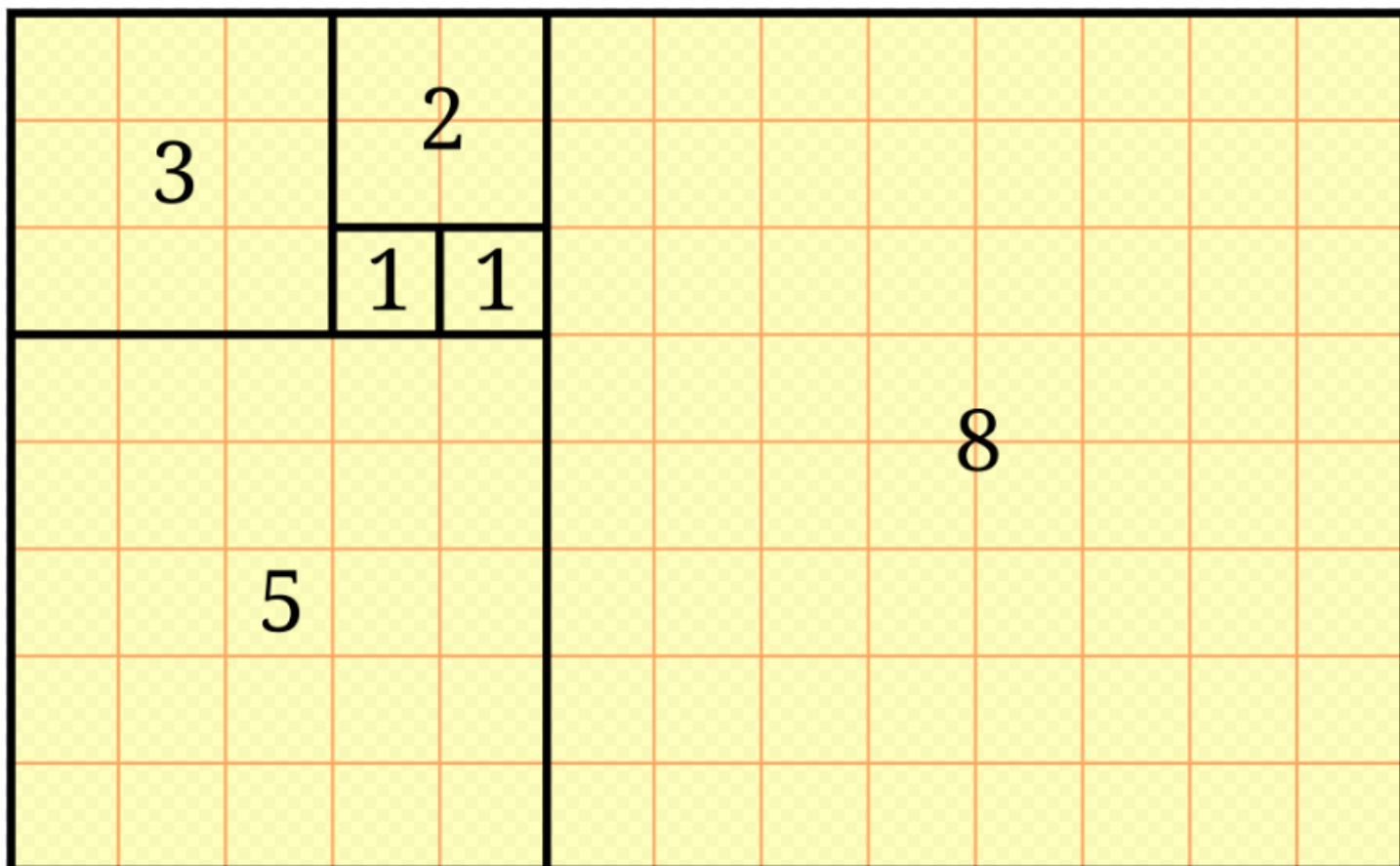


Figura 4.4: Una aproximación al rectángulo áureo, usando los dígitos 1, 1, 2, 3, 5 y 8 de la sucesión de Fibonacci.

Asimismo, si se traza una circunferencia entre los vértices opuestos de los cuadrados que corresponde a cada uno de los términos de la serie, se obtiene una aproximación a la espiral áurea.

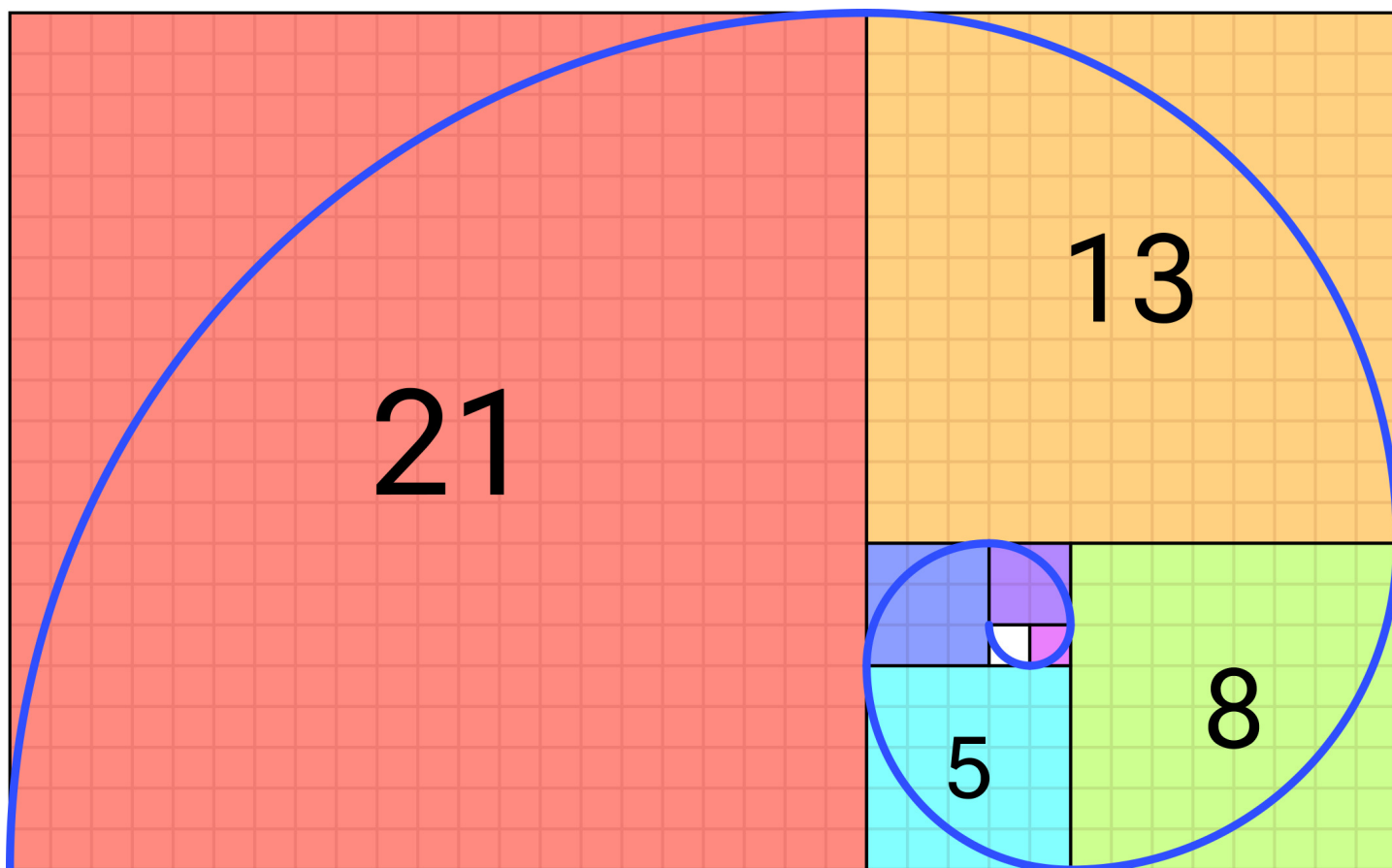


Figura 4.5: La aproximación a la espiral áurea, utilizando los dígitos 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13 y 21.