Lección N°1: El reconocimiento de argumentos

Un elemento central de la práctica científica es la presentación de argumentos y contra-argumentos. Al mismo tiempo, la práctica argumentativa es una práctica lingüística, en la medida en que un argumento se articula mediante el lenguaje. En términos generales, un argumento es un fragmento del lenguaje. Pero, si somos un poco más específicos, podríamos decir que es un **conjunto de proposiciones**. Por ello, es fundamental diferenciar el soporte material, la articulación discursiva (llámese "oración") de aquello que la oración afirma, su contenido (llámese "proposición"). De este modo, podemos encontrarnos con **distintas oraciones que expresan la misma proposición** (" El gato está sobre la mesa" y "Arriba de la mesa se encuentra el gato" son dos oraciones que expresan la misma proposición) o bien **una misma oración que expresa distintas proposiciones** ("Se rompió la vela" es una oración que expresa dos proposiciones; por un lado, puede estar haciendo referencia a una vela de cera que se utiliza para iluminar el ambiente que se quebró por la mitad y, por otro, puede estar haciendo referencia a la vela de un barco velero que se rompió por la potencia del viento).
Ahora bien, **no toda oración expresa una proposición**. Para que una oración cumpla esa función debe ser declarativa o informativa, es decir, debe afirmar algo de modo tal que tenga sentido preguntarse por su verdad o falsedad. De esta manera, las oraciones "Buen día" o "No tomes ese tren" no expresan proposición alguna en tanto no están afirmando o negando algo y no es posible determinar si son oraciones verdaderas o falsas. Por su parte, las oraciones "esta hoja es blanca" o "aprobé el examen con seis" sí expresan proposiciones, en tanto se puede determinar su condición de verdad.

Si nos ponemos más precisos todavía, podemos dar una definición técnica afirmando que **un argumento es un conjunto de proposiciones dentro del cual algunas cumplen la función de ser premisas y otras cumplen la función de ser conclusión**. Las **premisas** son aquellas **proposiciones que pretenden dar razones a favor de la conclusión**. La **conclusión** es aquella **proposición que se deduce de las premisas**.

Para que podamos hablar de un argumento, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- **Deben existir una o más premisa/s y una única conclusión**. Esta última puede ser compleja pero siempre ha de ser única.
- **Un argumento puede ser formulado en una o en varias oraciones**.
- Si bien se puede distinguir cierta estructura en los argumentos, **su formulación no suele respetar un orden preciso**. En otras palabras, la conclusión no necesariamente estará al final del argumento, sino que puede estar al comienzo o la mitad del argumento.

Hay ciertas expresiones que facilitan el reconocimiento de premisas y de conclusión:

-Llamamos **indicadores de premisas** a las expresiones luego de las cuales se encuentra una premisa. Ejemplo: **"Dado que…", "puesto que…", "porque…", "pues…", "además", "debido a", "teniendo en cuenta que…", etc.**
-Llamamos **indicadores de conclusión** a las expresiones luego de las cuales se encuentra la conclusión. Ejemplo: **"luego…", "por lo tanto…", "por consiguiente…", "en consecuencia…", "concluyo que…", "se sigue que…", "consecuentemente…", etc.**

Finalmente, es necesario hacer una aclaración para que se entienda correctamente por qué hemos utilizado comillas en algunas expresiones de esta lección. Entender esto implica entender la distinción entre **uso** y **mención** del lenguaje.
Usamos el lenguaje cuando utilizamos las palabras para referirnos a personas, cosas u objetos, es decir, a entidades extra-lingüísticas (más allá del lenguaje). **Hacemos mención** cuando utilizamos palabras para referirnos a otras palabras, es decir, a entidades lingüísticas. En este caso, aquello que se menciona se entrecomilla. Tomemos los siguientes ej:

- El papel es blanco.
- "Papel" tiene dos sílabas.

En el primer caso tenemos un ejemplo de uso, ya que con las palabras estamos haciendo referencia a cosas del mundo, a un papel y su condición de blanco. Estas son entidades extralingüísticas. En el segundo caso tenemos un ejemplo de mención, ya que con la palabra "papel" se está haciendo referencia a la palabra "papel", no a un papel sobre el que podemos escribir. En otras palabras, estamos utilizando el lenguaje para referirnos al lenguaje. Aquí nos referimos a entidades lingüísticas.

Lección N° 2: Tipos de oraciones

Hay distintos modos en que pueden distinguirse tipos de oraciones. El primer modo que tendremos en cuenta tiene que ver con su forma, es decir, con si son **oraciones simples** o bien **oraciones complejas**. Las oraciones complejas son aquellas que comprenden dos o más proposiciones, separadas por expresiones como “y”, “o”, “o bien” “pero”, “si… entonces”, “si y sólo si”, etc. Estas expresiones se suelen llamar **expresiones lógicas**. Aquellas oraciones que contienen la expresión lógica “no” (negación) también se consideran complejas. Las oraciones simples, por su parte, son aquellas que no contienen expresiones lógicas y que expresan una única proposición.

Conjunción: La conjunción es una oración en la que se afirman dos o más proposiciones (‘y’). Por ello, únicamente será verdadera cuando todas las proposiciones sean verdaderas. Ej: ‘Llueve (A) y me mojo (B)’.

A	.	B
V	V	V
V	F	F
F	F	V
F	F	F

Disyunción inclusiva: Las disyunciones inclusivas afirman que al menos una de las proposiciones será verdadera y admiten también el caso en que sean ambas verdaderas (‘o’, ‘u’). Ej: ‘Salgo a bailar (A) o estudio (B)’.
‘Joaquín o Mariela lo hicieron’, ‘Podrá salir cuando haya limpiado u ordenado’,

A	v	B
V	V	V
V	V	F
F	V	V
F	F	F

Disyunción exclusiva: Las disyunciones exclusivas afirman que sólo una de ellas puede ser verdadera, es decir, no admite que ambas proposiciones sean verdaderas (‘O esto… o aquello’, ‘O bien… o bien’). Ej: ‘Respiro (A) o bien estoy muerto (B)’.
‘Argentina ganara o perderá la final’, ‘El menú incluye o bien postre o bien café’, ‘O la puerta esta cerrada o esta abierta’.

A	w	B
V	F	V
V	V	F
F	V	V
F	F	F

Condicional: Mediante las oraciones condicionales se pueden establecer **condiciones suficientes** y **condiciones necesarias**. En cualquier oración condicional se llama **antecedente (t)** a aquella parte de la oración que sigue al si (A), se llama **consecuente (n)** a la que viene luego del entonces (B). (‘porque’, ‘por lo tanto’, ‘entonces’).

Las **condiciones suficientes** afirman es que para que suceda algo (B), es suficiente que ocurra otra cosa (A), pero no necesario (‘si… entonces’, ‘es condición suficiente’, ‘es suficiente para’, ‘basta que’). Ej: ‘Si llueve (A) entonces me mojo (B)’.

t → n (Si un tsunami azota Buenos Aires (t), la ciudad se inunda (n)).

A	->	B
V	V	V
V	F	F
F	V	V
F	V	F

Las **condiciones necesarias** (‘sólo si’, ‘es condición necesaria’, ‘es requisito’) establecen es que sí o sí tendrá que haber sucedido algo (B) para que ocurra otra cosa (A). Ej: ‘Solo si estudio (A), aprobaré la materia (B)’.

n → t (Si un tsunami azota Buenos Aires (t), la cuidad se inunda (n)).

B	->	A
V	V	V
V	V	F
F	F	V
F	V	F

Bicondicional: Este tipo de oraciones establecen que A es condición necesaria y suficiente de B y la inversa, que B es condición necesaria y suficiente de A (‘si y sólo si’, ‘es condición necesaria y suficiente’, ‘siempre y cuando’). Ej: ‘Apruebo siempre y cuando obtenga un 4 o más’.

A	<->	B
V	V	V
V	F	F
F	F	V
F	V	F

Negación: El valor de verdad de una negación es siempre contrario al valor de verdad de aquello que se niega (‘no’, ‘es falso que’, ‘no es cierto que’ o con los prefijos ‘des-‘ o ‘in-‘). Ej: ‘No nieva’.

A	<->
V	F
F	V

Podemos pensar otra manera de clasificar oraciones que no tiene ya que ver con las expresiones lógicas que utilice, sino más bien con el alcance del enunciado, es decir, con qué tan general o no sea un enunciado.

Los **enunciados singulares son aquellos que hablan de un único individuo, objeto o cosa**. Ej: “Esta hoja es blanca”. Este enunciado es singular en la medida en que se refiere a una única hoja. Será **verdadero o falso según el caso en cuestión**. Si efectivamente la hoja es blanca, el enunciado es verdadero. Si no es blanca, el enunciado es falso.

Los **enunciados universales son aquellos que se refieren a un conjunto en su totalidad**. Ej: “Todos los uruguayos son americanos”. En este caso, estamos diciendo que todo individuo que sea uruguayo será americano. Estamos hablando de la totalidad del conjunto de uruguayos. **Para determinar su verdad**, **habría que analizar todos los casos individuales**, es decir, tomar cada individuo uruguayo y determinar si es americano. Por el contrario, **para determinar su falsedad basta con encontrar uno** que no sea americano.

Los **enunciados existenciales son aquellos que se refieren a un subconjunto de un conjunto**, es decir, a cierta porción del conjunto, a determinados individuos de un conjunto. Ej: “Algunos médicos son cirujanos”. En este enunciado estamos diciendo que de la totalidad de los médicos algunos son cirujanos; es decir, respecto del conjunto de los médicos, estamos haciendo referencia al subconjunto de los cirujanos. **Para probar la verdad de un enunciado existencial basta con encontrar un caso que pertenezca al conjunto** (de los médicos, en nuestro caso) **y cumpla con la propiedad** (ser cirujano, en nuestro caso). **Para probar su falsedad debemos analizar todos los casos y demostrar en cada caso que el individuo que pertenece al conjunto** (de los médicos, en nuestro ejemplo) **no cumple con la propiedad** (ser cirujano, en nuestro ejemplo).

Contingente: Ej: “A Diana le gusta el dulce de leche o el chocolate”.
Oraciones como la anterior se denominan contingentes, pues se trata de una oración **que puede resultar ser verdadera o falsa** según sea el caso. Lo característico de este tipo de oraciones es entonces que su **verdad o falsedad** no está determinada por su forma sino que **depende del contenido de la oración**. Forma que, como vimos, está dada por las expresiones lógicas: “no”, “si…entonces…”, “y”, “pero”, “o”, “o bien… o bien…”, “siempre y cuando”, entre otras.

Tautología: Son aquellas oraciones que **son verdaderas en cualquier circunstancia**, que son necesariamente verdaderas. Ej:
Juan es argentino o no es argentino (A o no A)
Si llueve entonces llueve (A entonces A)
Es falso que soy feliz y no soy feliz (No es cierto A y no A)
En este sentido, digamos el sentido que digamos, si seguimos la estructura A o no A (por ejemplo), el enunciado será siempre necesariamente verdadero.

Contradicciones: Son la contracara de las tautologías. Son aquellas oraciones que **son falsas en cualquier circunstancia**, son necesariamente falsas. En otras palabras, son falsas en virtud de su forma lógica.
Ej: Juan es argentino y no es argentino (A y no A)
No es cierto que si llueve entonces llueve (No es cierto que si A entonces A)

Contingente su negación es contingente →

¬	Contg
F	V
V	F

Contradicción su negación es tautología →

¬	Contr
V	F
V	F

Tautología su negación es contradicción →

¬	Taut
F	V
F	V

Tautología + contradicción = contradicción →

Tau	.	Contr
V	F	F
V	F	F

Tautología + tautología = tautología →

Taut	.	Taut
V	V	V
V	V	V

Contingencia + contran = Contra

Tautología + contingencia = contingencia →

Taut	.	Contg
V	V	V
V	F	F

Lección N°3: Los argumentos deductivos y su evaluación

A la hora de evaluar argumentos, hay que tener en cuenta dos cuestiones fundamentales: En principio, si las premisas apoyan a la conclusión y en qué medida lo hacen. En segundo lugar, hay que analizar si las premisas son verdaderas o bien qué tan confiables son. La lógica nos permite únicamente evaluar los argumentos en el primer sentido, es decir, nos permite considerar si la conclusión se encuentra apoyada por las premisas y en qué grado.

Los argumentos pueden clasificarse en **argumentos válidos** y **argumentos inválidos** (no se puede decir que son verdaderos o falsos). Dentro de los primeros, tenemos los **argumentos deductivos**; en ellos, podemos diferenciar tipos específicos de argumentos deductivos que llamamos **reglas lógicas**. Dentro de los argumentos inválidos, tenemos los **argumentos inductivos** (dentro de los cuales distinguimos, argumentos por enumeración incompleta, por analogía y silogismos inductivos) y **las falacias formales**, que constituyen una violación de algunas de las reglas lógicas.

Definimos **argumentos válidos** como **aquellos argumentos que, en caso de tener premisas verdaderas, tendrán siempre conclusión verdadera**. Esto no quiere **decir que tengan siempre premisas y conclusión verdaderas** (si una premisa es falsa, la conclusión puede ser falsa), sino que si se da el caso de que las premisas sean verdaderas la conclusión será también verdadera.
Ahora bien, si dentro de los argumentos válidos situamos a los argumentos deductivos es porque es lo mismo decir que un argumento es válido que decir que es deductivo. De esta manera, lo que dijimos de los argumentos válidos se aplica también a los deductivos: **definimos los argumentos deductivos como aquellos argumentos en los que la conclusión queda establecida concluyentemente a partir de las premisas, de modo que si estas son verdaderas, la conclusión será también necesariamente verdadera.**
Estos argumentos son siempre válidos, más allá del significado de las premisas. Simplemente se dice que, en caso de que las premisas fueran verdaderas, lo conclusión también lo sería. **Esto quiere decir que la validez de un argumentos no depende del significado de las proposiciones que lo compone (premisas y/o conclusión, sean v o f), sino de su estructura** (Se podría formular una crítica a dicho argumento ya que la verdad de este no implica que las premisas sean verdaderas). Los argumentos son válidos por su estructura lógica; son **formalmente válidos**.
Aun así, no sólo es deseable que un argumento sea válido sino que también se pide que un argumento tenga premisas verdaderas. **Si un razonamiento (o argumentos) es válido y tiene además premisas verdaderas, se dice que es un razonamiento sólido** (un argumento puede ser válido y no solido; pero si es sólido si o si es válido). De modo que un **argumento puede ser juzgado por dos cuestiones**: por un lado, **respecto a si es válido o inválido**, y, por otro, **si tiene premisas verdaderas o falsas**.

Pues bien, si hemos dicho que un razonamiento deductivo o válido es un razonamiento que en caso de tener premisas verdaderas tendrá necesariamente conclusión verdadera o bien, para utilizar una expresión sinónima, **la verdad de las premisas garantiza la verdad de la conclusión**, o **la conclusión se sigue necesariamente de las premisas**. Si decimos esto, se prohíbe entonces la posibilidad de tener un razonamiento válido con premisas y conclusión falsa.

-Premisa verdadera y conclusión verdadera. (valido)
-Premisa verdadera y conclusión falsa (no se puede). (invalido)

Ahora bien, en caso de que las premisas sean falsas es incierto cómo serán las premisas. De modo que, puede:

-Premisa falsa y conclusión falsas. (valido)
-Premisa falsa y conclusión verdadera. (valido)

Si tenemos un argumento y no sabemos si es válido o no, una manera de determinar qué tipo de razonamiento es **buscando un caso en que las premisas sean verdaderas y la conclusión sea falsa**. Este caso se suele llamar **contraejemplo**. Si encontramos un contraejemplo, entonces podemos estar seguros de que el argumento es inválido.

Otro modo de identificar si el argumento es válido es **identificando su forma y analizando si ésta coincide con alguna forma deductiva conocida**. Ej:

(No es válido)	La forma del argumento es inválida y un contraejemplo seria:
A o B	La tierra gira alrededor de la Luna o la Luna gira alrededor de la Tierra
-------	--
A	La Tierra gira alrededor de la Luna

Hay ciertas estructuras lógicas deductivas que se llaman **reglas lógicas (reglas de inferencia)**. Se las llama "reglas" en la medida en que pueden servirnos en una deducción, es decir, pueden servirnos como reglas que legitiman nuestras transformaciones inferenciales, nuestros pasos de premisas a conclusión (las reglas de inferencia transmiten verdad de premisas a conclusión pues son argumentos validos, es decir que si las premisas son verdaderas, los pasos que siguen también). Las reglas lógicas son las siguientes:

Modus Ponens	**Si A entonces B** **A** ——— **B**	Si me caigo, entonces me levanto Me caigo ——— Me levanto
Modus Tollens	**Si A entonces B** **No B** ——— **No A**	Si llueve, entonces me mojo No me mojo ——— No llueve
Silogismo hipotético (Admite casos donde la premisas son verdaderas y la conclusión falsa)	**Si A entonces B** **Si B entonces C** ——— **Si A entonces C**	Si aumenta el transporte, tendré menos dinero Si tengo menos dinero, dejare de comprar cosas ——— Si aumenta el transporte, dejare de comprar cosas
Simplificación	**A y B** ——— **A (o B)**	Se cantar y se bailar ——— Se cantar
Adición	**A** **B** ——— **A y B**	Leo Estudio ——— Leo y estudio
Silogismo disyuntivo	**A o B** **No A (o No B)** ——— **B (o A)**	Salimos campeones o echan al entrenados No salimos campeones ——— Echan al entrenador
Instanciación del	**Todos los R son P**	Todos lo perros son mamíferos

universal	**X es R** **X es P**	Pluto es un perro Pluto es un mamífero

Antes de pasar a ver la aplicación de estas reglas, es necesario que analicemos ciertas estructuras lógicas que constituyen una violación de las primeras dos reglas, es decir, del Modus Ponens y del Modus Tollens. Estas estructuras que analizaremos son argumentos inválidos y se denominan **falacias formales**.
La primera que analizamos se llama **Falacia de Afirmación del Consecuente** y es una **violación del Modus Ponens**. Tiene la siguiente forma:

Falacia	**Ej**	**Modus Ponens**
A entonces B	Si hace calor, vamos a la playa	Si A entonces B
B	Vamos a la playa	A
------------------------	--	-------------------------
A	Hace calor	B

Como se verá, este razonamiento es similar al Modus Ponens, pero, en la segunda premisa, en lugar de afirmar el Antecedente (A), se afirma el Consecuente (B). De esta manera, se invalida el argumento, ya que la primer premisa nos dice que en caso de que se dé A, se dará necesariamente B; el hecho de que se dé B no nos habilita para determinar que se dio A, como conclusión.
Además de esta falacia, tenemos la **Falacia de Negación del Antecedente** que constituye una **violación del Modus Tollens**. Su estructura es la siguiente:

Falacia	**Ej**	**Modus Tollens**
Si A entonces B	Si obtengo un cuatro, aprobaré	Si A entonces B
No A	No obtuvo un cuatro	No B
-----------------	--	------------------------
No B	No aprobé	No A

Si bien la estructura es similar al Modus Tollens, en este caso, en la segunda premisa se niega el antecedente (A) en lugar de negar el consecuente (B). De este modo se invalida el argumento, ya que el hecho de que no se dé A, no es motivo como para afirmar que no se haya dado B. El condicional afirma que A es condición suficiente para B, pero no condición necesaria (**las premisas deben ser verdaderas y la conclusión falsa, pero la misma estructura**). Ej:

'María ira a la playa'→ -Si maría se pone ojotas, irá a la playa o a la pileta.
-María se puso ojotas y malla.
-María no irá a la pileta.

1-Si maría se pone ojotas, irá a la playa o a la pileta.
2-María se puso ojotas y malla.
3-María no irá a la pileta.
4-Maria se puso ojotas (simplificación en 2).
5-Maria irá a la playa o a la pileta (Modus Ponens entre 1 y 4).
6-Maria ira a la playa (silogismo disyuntivo entre 3 y 5).

También **existen las pruebas indirectas o también llamada prueba por absurdo. Se quiere demostrar que P es verdadero, para ello asumimos que P es falso, se muestran consecuencias con reglas de inferencia y se llega a un absurdo (contradicción). Así se demuestra que P no puede ser falsa, es decir que es verdadera.**

Lección N° 4: Los argumentos inductivos y su evaluación

Cuando hablamos de **argumentos inductivos** nos encontramos dentro de los **argumentos inválidos (argumentos en los que la verdad de las premisas no garantiza la verdad de la conclusión; es decir, se permite el caso de premisas verdaderas y**

conclusión falsa). Aun así, este tipo de argumentos son útiles. De este modo, cuando nos refiramos a este tipo de argumentos no hablaremos de validez, sino de **correcto o incorrecto**, **bueno o malo**.
Un argumento **inductivo correcto** (o fuerte) es aquel **cuyas premisas ofrecen buenas razones para que creamos que ha de darse la conclusión** (los argumentos inductivos las premisas dan un apoyo parcial a la conclusión). Veamos ahora los tipos de argumentos inductivos:

Argumentos inductivos por analogía: En este tipo de argumentos se establece una comparación entre dos o más cosas, entidades o eventos y, a partir de la constatación de que ellos son similares en ciertos aspectos, se concluye que también lo son en otro.

Forma	**Ej**
X_1 tiene las características F, G… Z	La naranja es un cítrico y tiene vitamina c
X_2 tiene las características F, G… Z	El limón es un cítrico y tiene vitamina c
X_n tiene las características F, G…	El pomelo es un cítrico
--	--
Poe lo tanto X_n tiene la característica Z	El pomelo tiene vitamina c

Argumentos inductivos por enumeración incompleta: En este tipo de argumentos se parte de una serie de casos observados y se generaliza en su conclusión para casos que van más allá de la evidencia disponible.

Forma	**Ej**
X_1 es Z	Juan, que es estudiante de la UBA, lee muchos libros
X_2 es Z	María, que es estudiante de la UBA, lee muchos libros
X_3es Z	Pablo, que es estudiante de la UBA, lee muchos libros
-------------	--
Por lo tanto todos los X son Z	Todos los estudiantes de la UBA leen muchos libros

Silogismos inductivos: En este tipo de argumentos se parte de una premisa articulada como una generalización estadística ("la mayoría de los A son B") y de una premisa que subsume un caso en dicha generalización ("x es A"), para concluir que dicho caso cumple con lo establecido en la generalización ("x es B").

Forma	**Ej**
El N por ciento (o la mayoría, o muchos) de los F son G	La mayoría de los canadienses hablan inglés
X es F	John es canadiense
--	---
Por lo tanto X es G	John habla ingles

Habiendo visto ya los tipos de razonamientos inductivos, es momento de analizar los criterios que nos permiten diferenciar cuándo un argumento inductivo es bueno/correcto o malo/incorrecto. Para esto, **no nos servirá en absoluto fijarnos en la estructura lógica del argumento (necesario pero no suficiente)**. En los inductivos, no alcanza con atender a la forma, sino que aquí cobra vital importancia el **contenido de los enunciados**. No existe un criterio único que permita distinguir buenos (hay algunos argumentos que no establecen de modo concluyente la conclusión pero que son buenos) y malos argumentos inductivos, sino que hay **distintos criterios según el tipo de argumento inductivo** que se trate.

Argumentos inductivos por analogía:

1) Las propiedades a partir de las cuales planteamos la analogía sean relevantes para la propiedad que inferimos.

(a)	**(b)**
Juan tiene dos ojos, dos brazos y es inteligente	Juan estudia Ingeniería, es estudioso y es inteligente
Pepe tiene dos ojos, dos brazos y es inteligente	Pepe estudia Ingeniería, es estudioso y es inteligente
María tiene dos ojos y dos brazos	María estudia Ingeniería y es estudiosa
--	---
María es inteligente	María es inteligente

En el caso (a), la analogía que estamos estableciendo es mala y no cumple con 1), ya que los aspectos de tener dos brazos y dos ojos son aspectos irrelevantes a la hora de juzgar la inteligencia de alguien. De hecho, en principio todo humano tiene dos brazos y dos ojos. El siguiente caso (b) ejemplifica una buena analogía.

2) Mientras más aspectos compartan los casos analizados, más fuerte será el argumento.

(a)

Luis trabaja en IBM y llega puntual todos los días
Pablo trabaja en IBM y llega puntual todos los días
Anabel trabaja en IBM

Anabel llega puntual todos los días

(b)

Luis trabaja en IBM, es disciplinado, acaba de entrar a la empresa y llega puntual todos los días
Pablo trabaja en IBM, es disciplinado, acaba de entrar a la empresa y llega puntual todos lo días
Anabel trabaja en IBM, es disciplinada y acaba de entrar a la empresa
----
Anabel llega puntual todos los días

Si se analizan ambos casos, se verá que el segundo ejemplo dado (b) es un caso donde la analogía es más fuerte, en la medida en que aparecen tres aspectos en común a los tres individuos, en tanto que en el primer ejemplo (a) tan sólo aparecía un aspecto en común.

3) Mientras más casos análogos se consignen, más fuerte será el argumento por analogía.

(a)

Ernesto es lindo e inteligente
Juan es lindo e inteligente
José es lindo

José es inteligente

(b)

Ernesto es lindo e inteligente
Juan es lindo e inteligente
Néstor es lindo e inteligente
Luciano es lindo e inteligente

José es inteligente

En estos ejemplos, podemos apreciar que el segundo ejemplo (b) es más fuerte que en el primero, en la medida en que se comparan más casos (cinco personas, en este ejemplo), en tanto en que el primer ejemplo (a) sólo comparaba dos casos.

Argumentos inductivos por enumeración incompleta:

1) Cuán grande sea la muestra desde la cual partimos, es decir, cuántos casos tenemos en las premisas.

(a)

El cobre se dilata con el calor
El oro se dilata con el calor

Todos los metales se dilatan con el calor

(b)

El cobre se dilata con el calor
El oro se dilata con el calor
La plata se dilata con el calor
El hierro se dilata con el calor

Todos los metales se dilatan con el calor

Como se podrá apreciar, el segundo caso (b) es más fuerte que el primero (a) en la medida en que el muestreo es más grande, es decir, tenemos más casos y por ende la conclusión se apoya en las premisas con mayor probabilidad.

2) Que la muestra sea representativa, es decir, que sea heterogénea.

(a)

Martina, que es porteña, es comunista
Anabela, que es porteña, es comunista
Luisa, que es porteña, es comunista

Todos los argentinos son comunistas

(b)

Martina, que es porteña, es comunista
Anabela, que es cordobesa, es comunista
Luisa, que es salteña, es comunista

Todos los argentinos son comunistas

El segundo caso (b) es el más fuerte de los dos, en tanto en el primer caso (a) el muestreo está sesgado, es decir, no es lo suficientemente representativo, ya que para hablar del conjunto de los argentinos se toman casos de personas que nacieron únicamente en CABA; por su parte, el muestreo del segundo ejemplo (b) podría considerarse lo suficientemente representativo, al tomar casos de distintas localidades el país.

Silogismos inductivos:

1) La frecuencia relativa que se establece en la generalización estadística, es decir, cuán grande es la relación entre A y B cuando se afirma "La mayoría de los A son B".

(a)

El 50% de los argentinos son engreídos
Jonathan es argentino

-------------------------------------- --------------------

Jonathan es engreído

(b)

El 90% de los argentinos son engreídos
Jonathan es argentino

Jonathan es engreído

Como se verá, la frecuencia relativa en que sucede B (ser engreído) cuando sucede A (ser argentino) es mayor en el segundo caso (b) que en el primero (a), por lo que podemos considerar al segundo ejemplo como un silogismo inductivo más fuerte que al primero.

2) La totalidad y especificidad de la evidencia disponible.

(a)

El 90% de los alumnos del profesor "x" aprueban
Cristian es alumno del profesor "x"

Cristian aprobó

(b)

El 90% de los alumnos del profesor "x" aprueban, son estudiosos y asisten a clase regularmente
Cristian es alumno del profesor "x", es estudioso y asiste a las clases regularmente

----

Cristian aprobó

Podemos observar que el segundo ejemplo (b) es más fuerte que el primero (a), en la medida en que la evidencia disponible es mayor y aporta mayor especificidad. En el primer ejemplo, la conclusión se apoyaba únicamente en el hecho de que Cristian es alumno del profesor "x". En cambio, en el segundo ejemplo se aporta mayor información que da más peso a la conclusión; es decir, no sólo se afirma que Cristian es alumno del profesor "x", sino también que estudioso y asiste a clases regularmente. En conclusión el argumento b) es más fuerte que el argumento a).

Lección N° 5: Sistemas axiomáticos

Los primeros conocimientos matemáticos tienen su origen en los pueblos mesopotámicos (sumerios, babilonios) y en los egipcios. La característica fundamental de los documentos que atestiguan estos conocimientos es que se trata de **conocimientos aislados**, **no articulados entre sí**. Aparecen allí resoluciones de problemas de índole práctica, referidas al mundo físico (**no desde una perspectiva abstracta**, además **no estaba organizada sistemáticamente**).

La peculiaridad del **genio griego** radica fundamentalmente en una nueva actitud, consistente en dar explicaciones de la naturaleza meramente **racionales**, es decir, sin apelar a elementos míticos o sobrenaturales. En cuanto al conocimiento matemático, los **griegos se distinguen en la medida en que le dan un tratamiento general a los problemas matemáticos**. Esto es, se los aborda desde una perspectiva más **abstracta** y tendiente a **generalizar**, en lugar de proporcionar únicamente la respuesta al problema específico. Ello significa reconocer el predominio de la teoría, entendiéndola como **organizadora de la práctica**. Esta forma de especulación puramente racional de la naturaleza constituye el origen histórico de lo que hoy en día llamamos **ciencia**. Esta tendencia a la abstracción y la generalización dio lugar a la **sistematización de los conocimientos matemáticos**. Tales, uno de los primeros matemáticos y astrónomos, fue el primero en utilizar el **método deductivo**.

Un matemático griego llamado **Euclides** (Alejandria) llevó a cabo este intento en su obra **Elementos**. Allí siguió Euclides los lineamientos que según Aristóteles debía cumplir una ciencia demostrativa: la ciencia era concebida como un conjunto de afirmaciones sobre un determinado objeto, siendo un requisito que tales afirmaciones fueran generales y necesariamente verdaderas. Estas afirmaciones debían estar articuladas de modo tal que mediante la aplicación de un razonamiento lógico se apoyaran unas afirmaciones en otras que se tomaban como punto de partida y respecto de las cuales no se exigía demostración, ya que se trataba de verdades evidentes. En cuanto al vocabulario utilizado, se distinguía entre términos primitivos y otros que se definen a partir de ellos. En esta obra **Euclides distingue tres tipos de enunciados de entre aquellos que se aceptan sin demostración y que sirven como punto de partida**.

-Los **postulados** (hoy en día denominados **axiomas**) son aquellos que **se refieren a una ciencia en particular** (en este caso la geometría) y son los siguientes:

1. Desde un punto a otro siempre se puede trazar una recta.
2. Una recta se puede prolongar indefinidamente en cualquiera de sus dos direcciones.
3. Dado un punto y un segmento, se puede construir un círculo que tenga a ese punto como centro y a ese segmento como radio.
4. Los ángulos rectos son iguales entre sí.
5. Si una recta corta a otras dos de manera que la suma de los ángulos interiores de un mismo lado sea menor que dos ángulos rectos, entonces dichas rectas, prolongadas suficientemente, se cortarán del mismo lado de la primera línea recta en que se encuentren aquellos ángulos cuya suma es menor que dos rectos.

Si se analizan estos postulados, queda claro que el **enfoque euclidiano de la geometría es un enfoque abstracto**, a diferencia del enfoque empírico de los egipcios, por ejemplo. Esto puede percibirse si se piensa que es imposible prolongar indefinidamente una recta en el mundo físico.

-Tenemos también las **nociones comunes**, que **hacen referencia a cuestiones generales, aplicadas en otros ámbitos**. Por ejemplo las siguientes:

***** Cosas iguales a una misma cosa son iguales entre sí.
*****El todo es mayor que cualquiera de sus partes.

-Euclides también incluye las **definiciones**, entre las cuales podemos mencionar:

- Un punto es lo que no tiene partes.
- Una línea es una longitud sin anchura.

En este punto Euclides **se aparta de la tradición aristotélica**, ya que en ella se requería comenzar con ciertos términos que se tomaban como puntos de partida y no se definían.

A partir de los postulados y las nociones comunes, Euclides obtiene deductivamente una serie de enunciados llamados por él proposiciones (hoy conocidos como teoremas). Como los postulados y las nociones comunes se consideran enunciados verdaderos y las proposiciones se obtienen deductivamente, resultan también estos últimos enunciados verdaderos. Euclides construye en esta obra demostraciones de estas proposiciones.
Ahora bien, si se reflexiona un poco sobre los postulados de Euclides surge inmediatamente un problema. Recordemos que **un requisito de los axiomas era que su verdad fuera evidente**. Sin embargo, **el quinto postulado parece ser mucho menos evidente** que los otros.
Esta aparente falta de evidencia de la formulación original **hizo que los geómetras posteriores a la época de Euclides sospecharan que el quinto postulado era, en verdad, un teorema (creyeron que el axioma no era independiente)**. Por ello, a lo largo de los siglos se sucedieron muchos intentos de demostración que, invariablemente, cuando conseguían demostrarlo utilizaban como axioma un **enunciado equivalente al quinto postulado**. Es decir, para su demostración se suponía una versión distinta (pero equivalente) del quinto postulado.
Una de las versiones alternativas del quinto postulado se debe al matemático escocés **John Playfair**, que dice lo siguiente:

- Por un punto exterior a una recta, puede trazarse una única paralela a dicha recta.

En 1733, un matemático llamado **Giovanni Saccheri intentó hacer una demostración por el absurdo del quinto postulado**, es decir, intentó hacer una hacer una prueba indirecta **partiendo de los postulados 1 a 4 y de la negación del quinto**. De tal modo, **se suponía que iba a llegar necesariamente a una contradicción** que le permitiría rechazar el supuesto provisional (la negación del quinto postulado) y concluir, por ende, en la **afirmación del quinto postulado**.
La negación del quinto postulado puede consistir en la afirmación de alguno de los siguientes enunciados:

- Caso 1: Por un punto exterior a una recta, no pasa ninguna paralela.
- Caso 2: Por un punto exterior a una recta, pasa más de una paralela.

Saccheri analizó los enunciados que resultaban de negar el postulado quinto y, si bien las **contradicciones surgieron en el primer caso**, no ocurrió lo mismo en el segundo. En este **segundo caso**, **no llegó a ninguna contradicción**, aunque sí obtuvo una cantidad de teoremas que consideró extraños, por lo que creyó que la contradicción estaba próxima. De esta manera, rechazó el supuesto provisional y creyó probar la verdad del quinto postulado.

Sin embargo, el trabajo de Saccheri lejos **estuvo de ser definitorio**. Aun así, **abrió las puertas para el desarrollo de nuevas geometrías alternativas** a la geometría euclidiana.
Posteriormente, distintos matemáticos trazaron distintos desarrollos en base a los dos casos que había marcado Saccheri.

Puntualmente, **Carl Gauss**, **János Bolyai** y **Nikolái Lobachevski**, ensayaron manteniendo los primeros cuatro postulados y reemplazando el quinto por el siguiente enunciado:

- Por un punto exterior a una recta, pueden trazarse infinitas paralelas a dicha recta.

Se trata, claramente, de una versión del segundo caso mencionado por Saccheri. Así nació, pues, la **geometría hiperbólica**.
Esta geometría tiene teoremas en común con la geometría euclídea (**aquellos que se deducen sólo de los primeros cuatro postulados**) y otros teoremas divergentes (**aquellos en los que interviene el nuevo quinto postulado**). Como ejemplo de esto último, si en la **geometría euclidiana** (**suponiendo los cinco postulados**) la suma de los ángulos interiores de un triángulo es **igual a dos rectos** (180°), en la geometría hiperbólica, la suma de los ángulos interiores de un triángulo **es menor de 180°**.
La otra alternativa, la que implica el desarrollo de una geometría suponiendo **el primer caso de Saccheri** (que por un punto exterior a una recta no puede trazarse ninguna paralela a dicha recta) fue desarrollada posteriormente por el matemático **Bernhard Riemman**. De esta manera, se dio origen a la **geometría elíptica**. En esta geometría no sólo se **abandona el quinto postulado**, sino que también se **abandona el segundo** (que afirmaba la infinitud de una recta).
En esta geometría, a diferencia de la geometría euclidiana y de la hiperbólica en donde las rectas son infinitas –en virtud del segundo postulado- , **las rectas son cerradas**, es decir, **no son infinitas**. **Al abandonar el segundo postulado, Riemann evita las contradicciones halladas por Saccheri.**
Como consecuencia de la geometría de Riemman, se puede probar como teorema que la **suma de los ángulos interiores de un triángulo es mayor que 180°**.

En principio, estas nuevas geometrías fueron consideradas como juegos mentales, en tanto que la geometría euclidiana era considerada la única geometría, ya que describía el espacio físico.
De esta manera, a partir del surgimiento de estas nuevas geometrías surgió la distinción entre **geometrías matemáticas o puras como la hiperbólica o la elíptica** que son aquellas que describen estructuras posibles, y una **geometría física o aplicada**, **como la euclidiana**, que pretendía describir la realidad física.

Progresivamente, estos nuevos sistemas axiomáticos fueron concebidos como **estructuras formales**, que partiendo de ciertos enunciados permitían construir edificios coherentes, pero sin referencia a entidad alguna. Sin embargo, con el transcurrir de la ciencia resultó que las nuevas geometrías permiten interpretar el universo en que vivimos, siendo utilizadas, por ejemplo, para la física atómica y la física astronómica. De hecho, fueron fundamentales para el desarrollo de la teoría de la relatividad de Einstein.

Se hace necesario en este momento hacer algunas diferenciaciones entre los sistemas **axiomáticos de línea aristotélica o euclidiana** (o sistema axiomático **informal**) respecto a los sistemas **axiomáticos desde una perspectiva contemporánea** (o sistema axiomático **formal**). En general, un **sistema axiomático es un sistema en el cual se parte de axiomas para demostrar deductivamente teoremas**, en el caso de la concepción contemporánea es necesario **explicar las reglas de inferencia utilizadas.**

En un sistema axiomático informal, se requiere que los axiomas sean **verdades auto-evidentes que se toman como punto de partida**. El problema es que la evidencia o no de un axioma es de carácter subjetivo, problema que hemos visto cuando se analizaba si el quinto postulado es o no evidente.

En un sistema axiomático formal, se parte de enunciados que se aceptan convencionalmente como **puntos de partida**, no **es necesario probar su probar ni que sean evidentes** (con cierta interpretación). Si se exigiera la demostración de los axiomas (llámese A), se requeriría la existencia de otros axiomas más fundamentales (B); ahora bien, también habría que demostrar estos axiomas más fundamentales a partir de otros más fundamentales (C), y de esta manera caeríamos en lo que se denomina una **regresión al infinito** (por eso los axiomas **no se demuestran**), ya que nunca terminaríamos de probar los axiomas. Si, por otro lado, estos axiomas (C) se probaran a partir de los primeros axiomas (A), caeríamos en lo que se denomina un círculo vicioso (por eso los términos primitivos de un sistema axiomático **no se definen, partimos de cosas que no están definidas y obtenemos cosas definidas**).

Por su parte, podríamos definir a los **teoremas como aquellas proposiciones deducidas de axiomas** (o demostradas a partir de estos). Una demostración es una prueba lógica que señala las implicancias de axiomas respecto de los teoremas. Veamos ahora cómo se estructuran los sistemas axiomáticos.

1- Vocabulario: a) Términos lógicos (todos, son, si… entonces, no, etc.)
b) Términos no lógicos (triángulo, recta, punto, etc.)
b1) Términos primitivos (se aceptan y emplean sin definición)
b2) Términos definidos (se definen a partir de los términos primitivos)

Veamos ahora las propiedades que pueden o no tener los sistemas axiomáticos:

a) Consistencia: Un sistema es consistente si, desde los axiomas, no se puede derivar una fórmula y su negación. En otras palabras, no admite que se derive una contradicción. En tal caso, el sistema sería inconsistente.
b) Independencia: Un sistema es independiente si sus axiomas son independientes entre sí; es decir, si ningún axioma se deriva de otro axioma o de un conjunto de axiomas
c) Completitud: Un sistema es completo si permite demostrar todo lo que se pretenda demostrar a la hora de construir el sistema, es decir, cuando hay garantía de que ninguna verdad quedará fuera del sistema

Lección n°6: Revolución copernicana

En la historia de la astronomía y la física, Aristóteles resulto ser una figura decisiva, pues delineo una cosmología (sistema de creencias sobre la estructura del universo) que se mantendría por más de dos mil años. Cosmología aristotélica, la tierra y todo lo que en ella se encontraba estaba compuesto de cuatro elementos: **tierra, fuego, aire y agua**. De acuerdo con la proporción de los elementos que la constituían, los cuerpos podían ser distinguidas entre **pesados y ligeros** (o medios). La tierra era pesada; el fuego leve; el agua y aire intermedios. Aristóteles distinguió dos clases de movimientos: uno **natural** (el movimiento natural de los cuerpos terrestres es **rectilíneo**; la dirección varía de acuerdo a si se trata de un cuerpo pesado o leve. Los pesados se moverían hacia abajo; los leves hacia arriba. Los movimientos entonces eran rectilíneos y **ascendentes** o **descendentes**: el centro de la tierra inmóvil daba una referencia para ese arriba y abajo) y otro **forzado** (los movimientos forzados son aquellos en donde un agente externo actúa sobre el objeto, ej. tirar una piedra) la física aristotélica ofrecía precisiones adicionales; entre ellas, el tiempo que los cuerpos empleaban al caer era inversamente proporcional a su peso. (un objeto más pesado llegaría más rápido al suelo que otro de la mitad de peso). **La tierra era el centro de todo**. El universo estaba constituido por una región terrestre conformada por la tierra y sus vecindades, denominada región sublunar, y por una región celeste o supra lunar, en donde habitaban el sol, la luna, el resto de los planetas y finalmente las estrellas. Las estrellas estaban en una esfera que las contenía y que ponía un límite al universo, más allá de la esfera de las estrellas no había nada. En la región celeste, todos los cuerpo tenían forma esférica – perfecta de acuerdo con los griegos- estos compuestos por un único elemento: el éter: sustancia cristalina apropiada para aquella forma perfecta. En la cosmología aristotélica se diferencia la tierra de los cielos; en la tierra vemos nacimiento, corrupción, muerte, cambio, distintos tipos de movimientos, en la región supra lunar no hay generación ni corrupción; allí hay solo un movimiento perfecto que son los astros: estos solo están sujetos a un movimiento natural eterno, circular, uniforme. Aristóteles adopta ideales impuestos por su maestro Plutón, los movimientos de los cuerpos celestes deberían resultar de la composición de movimientos circulares y uniformes. Bastaba entonces con ubicar a la tierra en el centro y hacer girar, en algún orden, el sol, la luna y los demás planetas y las estrellas para dar cuenta de sus posiciones a lo largo del tiempo. Pero esto resulto ser más complejo, dado que las observaciones que realizaban los antiguos astrónomos no se ajustaban a este esquema.

Los cuerpos celestes y los movimientos observados

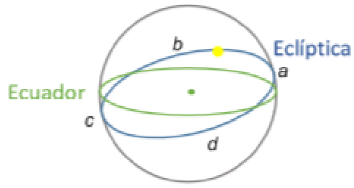
Los griegos observaban algunos astros que se movían más o menos regularmente, algunos no eran perceptibles en un mismo día. Seguiremos la estrategia adoptada por **Thomas Kuhn** en la revolución copernicana de presentar las observaciones de las que debían dar cuenta tanto las teorías astronómicas pre copernicano como copernicanas. Para presentar luego el modo en que cada una de esos sistemas las explica.

i. Las estrellas se mueven diariamente de modo regular. Se mueven manteniendo sus posiciones relativas. La gran cantidad hace difícil su reconocimiento y observación. Desde épocas muy tempranas las distintas civilizaciones han reunido las estrellas en constelaciones, posible porque las estrellas se mueven al unísono. Se imaginaban líneas que unían a las estrellas y se les asignaba imágenes familiares. Estas circunstancias las volvía útiles para la orientación. Sin embargo una de ellas parece inmóvil; la estrella polar. Y se tendrá la impresión de que todas las estrellas se mueven alrededor de ella. Las estrellas se desplazan de día y de noche, pero por el resplandor del sol es imposible verlas durante el día. No todas las estrellas pueden ser vistas simultáneamente, pues no todas se encuentran sobre el horizonte al mismo tiempo.

ii. Los planetas, el conjunto de planetas irá cambiando a lo largo de la historia. El más notable es el de la tierra que perdió su estatus privilegiado. Para el siglo V a.C y por mucho tiempo después, los planetas eran siete: luna, sol, mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno. Además de un movimiento diario semejante al de las estrellas hacia el oeste, se mueven más lentamente en dirección este. Durante este desplazamiento a través de las estrellas, los planetas no se alejan demasiado de la eclíptica. Cada planeta demora un tiempo diferente en completar el recorrido a lo lardo de la eclíptica. Hay dos fenómenos adicionales: la luna presenta fases, conocidas como luna nueva, creciente, llena y menguante. Por otra parte, Mercurio y Venus nunca se alejan demasiado del sol, mientras que Marte, Júpiter y Saturno si lo hacen. Al movimiento hacia el este se lo denomina **movimiento directo**, y aquel de retroceso con dirección oeste es llamado **movimiento retrogrado**. Cuando los planetas retrogradan, aumentan su brillo y el tamaño de su disco.

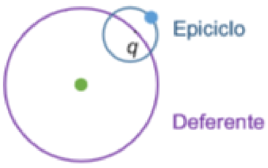
El sistema aristotélico

La cosmología aristotélica retomaba un esquema general que suele denominarse **universo de las dos esferas**, que consistía en pensar que había dos esferas. Una **central fija que correspondía a la tierra** (la tierra no se movia) y **otra superior que dentro de su interior las estrellas estaban como añadidas por tachas y en el espacio que había en medio los planetas giraban**. Pero los planetas no giraban uniformemente alrededor de la tierra, si no que tenían variación en la velocidad y hacían retrogradaciones.
Entre las opciones con las que contaba Aristóteles, se encontraba la **teoría de las esferas homocéntricas** atribuida hoy en día a **Eudoxo** y modificada ulteriormente por **Calipo** –y como veremos, también por el mismo **Aristóteles**–. Había propuesto un modelo matemático que podía describir el movimiento de los cuerpos celestes a partir de **esferas concéntricas u homocéntricas** que giraban cada **una sobre un eje diferente** (20 esferas) empleando **diferente tiempo en dar la vuelta**. Cada planeta se ubicaba en una esfera interconectada unas con otras, cuya rotación en torno a diferentes ejes producía el movimiento observado. Aristóteles retoma este esquema, quería ofrecer una **explicación mecánica** (como se transmite el movimiento de una esfera a otra) y aumento el número de esferas a mas de 50 (una cebolla y sus capas, para explicar los cambios de velocidad y retrogradación). Aquí las capas giran sobre su eje, y estas esferas están **conectada una con otra a través de los extremos de su eje de rotación**. Y las esferas que están conectadas también giran pero con un eje diferente y una velocidad diferente. La más externa arrastra a la más interna y así (se puede pensar en un giroscopio).
El **movimiento de las estrellas** sobre su eje en el interior de la capa externa nos permite explicar porque las estrellas se mueven todas juntas. En cuanto a la estrella que se encuentra sumamente cerca del eje, la estrella polar, parecerá siempre quieta. En cuanto a los **planetas**, basta una esfera para cada planeta para explicar su movimiento. Si un planeta estaba en una esfera y esta era arrastrada por la esfera externa, la de las estrellas, era de esperar ver a los planetas moverse entre las estrellas como una estrella mas, y el sol durante el dia. Era necesario algunas esferas adicionales para describir las **variaciones estacionales del sol** (era suficiente suponer que el eje de rotación del sol estaba levemente inclinado) y las **retrogradaciones de ciertos planetas** (se explicaban a partir de esta sucesión de esferas unas encastradas en otras, las cuales al girar con distintos ejes y empleando distinto tiempo en completar una vuelta, generaban una especie de bucle en las órbitas). Se trataba de especificar el eje sobre el que giraban las esferas y su tamaño, para capturar el tiempo que tardaba cada planeta en dar la vuelta sobre a eclíptica. Los astrónomos difirieron en cuantas esferas eran necesarias para dar cuenta del comportamiento de los astros. Sin embargo, habían varios **problemas que no se podían resolver**; algunos planetas próximos al sol, no se determinaba el orden preciso de los planetas, pues dos de ellos tardaban el mismo tiempo en completar la vuelta. Además las observaciones parecían contradecir la teoría; se podía ver a los planetas más brillantes y por ende se suponía que el planeta se había acercado más a la tierra, pero según esta teoría, los planetas se mantenían a la misma distancia de la tierra.

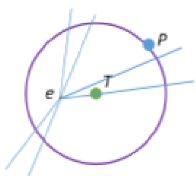


El sistema ptolemaico

Siglo III a. C (Alejandria) se gestó un sistema alternativo al de las esferas. **Apolonio de Perga** e **Hiparco** parecen haber sido los precursores de este nuevo sistema, pero fue **Claudio Ptolomeo** quien en el siglo II compilo estos saberes en su obra "**Almagesto**". El sistema de Ptolomeo presenta a los astros girando también en círculos, pero ya no necesariamente concéntricos. Sin embargo, en muchos aspectos este sistema se mantenía dentro de los lineamientos de la cosmología aristotélica. Con el sistema anterior, no se podían responder ciertas incógnitas, como porque en cierto momento los planetas brillaban más, o explicar el acercamiento y alejamiento del planeta. La respuesta de Ptolomeo consistió en la **postulación de círculos que no comparten el mismo centro**. En lugar de que el planeta gire directamente alrededor de la tierra, ubiquémoslo ahora en un círculo menor centrado en un punto q, llamado **epiciclo**; y situemos este círculo menor sobre aquel círculo más grande centrado en la tierra, llamado **deferente**.



El planeta gira alrededor del epiciclo y al mismo tiempo el centro del epiciclo gira en el eje deferente, el planeta estaría sujeto a dos movimientos, y este movimiento puede explicar las **retrogradaciones** (sucede cuando el planeta circula por la parte del epiciclo que se sitúa dentro del deferente, que coincide con el movimiento de mayor brillo. Si el epiciclo y deferente giran hacia la misma dirección, cuando el planeta circule por la parte del epiciclo que queda dentro del deferente, parecerá que retrocede), **la intensidad de la luz**, **la velocidad variable con la que se mueven los planetas**, así como los cambios de dirección a lo largo de su trayectoria. En resumen, este sistema **permite explicar el movimiento diario de las estrellas y de los planetas**, pues **conserva la esfera fija de las estrellas en movimiento** y, además, **los epiciclos y deferentes están situados en la eclíptica**, por lo que el movimiento de la esfera que contiene a todas las estrellas arrastra el deferente junto con el resto de las estrellas. Asimismo, cada planeta necesita un sistema propio de epiciclo-deferente, excepto la Luna y el Sol, que solo necesitan deferentes, ya que no retrogradan. Igual **quedaban cosas por explicar**; en primer lugar quedaba pendiente la cuestión de la **determinación del orden de los planetas** (los planetas no siempre ocupan las posiciones previstas sobre la eclíptica a lo largo de todo su recorrido). Otro caso es el de **mercurio**: los intervalos que separan retrogradaciones sucesivas no son siempre exactamente iguales entre si, retrograda 116 días y tarda 365 días en dar una vuelta alrededor de la tierra; podemos concluir que el planeta da mas de tres vueltas sobre el epiciclo mientras que el deferente completa una. Sin embargo, el sistema epiciclo deferente es tal que **ha de completarse un número exacto de vueltas del epiciclo por cada vuelta del deferente para devolver al planeta en su posición original**. Por último; **el sol no retrograda**, pero su desplazamiento es un poco más rápido en invierno que en verano y parece moverse entones a velocidad variable a lo largo de la eclíptica. Para solucionar esto introdujeron una serie de recursos adicionales; los **epiciclos menores, las excéntricas y el ecuante**. El ecuante era un mecanismo que permitia "uniformizar" los movimientos.



La astronomía copernicana

En 1543 se publico “revolutionibus orbium coelestium” por Nicolás Copérnico, un clérigo polaco. Proponía un sistema astronómico, que **daba movimiento a la tierra y ocupaba su lugar el sol**, esta idea no era novedosa, siglo IV a.C **Heraclides de Pondo** había atribuido a la tierra una rotación diaria; en el siglo III a.C. **Aristarco de Samos** había propuesto que la tierra tenía un doble movimiento, uno de rotación y otro alrededor del sol y entendía que los movimientos del sol eran solo aparentes. **Pero esto se oponía a la imagen aristotélica dominante**. No era claro el porqué Copérnico abandona la astronomía ptolemaica, al parecer el empleo de **ecuantes** le resultaba inaceptable, violaba el dictum platónico de **que los movimientos celestes debían de ser circulares y uniformes**. Y aparte el atribuir diferentes recursos conducían a un sistema sumamente complejo; si bien cada fenómeno recibía una explicación, el conjunto de estas no componía un todo sistemático. En su prologo de su obra Copérnico se lamento del estado de la astronomía de su época, en su lamento habla sobre que no hay acuerdo entre los diferentes investigadores, que **hay inseguridad acerca de los movimientos del sol y de la luna**, **no se puede deducir la duración exacta del año estacional, no pueden explicar sus respectivas revoluciones y movimientos aparentes** y **que no han conseguido establecer un sistema que pueda explicar completamente los fenómenos**. Copérnico parece haber advertido, que la idea de una tierra en movimiento **chocaba fuertemente no solo con las convicciones cosmológicas aristotélicas** aun dominantes, **sino también con la física enseñada por Aristóteles** (cosmología de Aristóteles planteaba una escisión tajante entre la esfera terrestre y la celeste, y ello era incompatible con la idea de la tierra concebida como un planeta más. Además la física aristotélica era la física de un planeta inmóvil situada en el centro del universo finito). La creación de la revolución iniciada por Copérnico requeriría del desarrollo de una **nueva física**.
Se necesitaba un **arriba y abajo**. Y un **centro** alrededor del cual orbitaran los cuerpos celestes; y la tierra proveía se punto de referencia necesario. Y si la tierra se encontrara en constante movimiento, si dejáramos caer una piedra desde lo alto tendría que caer mucho más atrás porque la tierra estaría girando a gran velocidad, ya que tendría que completar el giro en solo un día, pero la piedra cae el pie de la torre. Asi **el sentido común daba una respuesta negativa al movimiento terrestre**. La situación sería peor si se considerara que la tierra, ademas, se desplazaba anualmente a través de las estrellas.

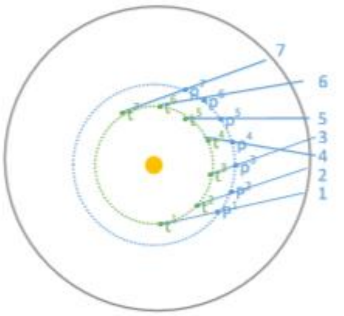
A pesar de las tensiones, la publicación de Copernico inaugura un profundo cambio en el pensamiento astronómico y cosmológico. Varias razones hicieron eso posible. En primer lugar, como advierte **Kuhn** (1957), hacia el siglo XV **no existía un único sistema ptolemaico**, si no que **habían muchos sistemas conviviendo**, y ninguno especificaba la forma completa y precisa que debía utilizar un astrónomo para predecir fenómenos. A su vez, Copérnico y sus contemporáneos tenían datos acumulados a lo largo de trece siglos, por lo que resultaba sencillo reconocer los errores de los sistemas astronómicos que circulaban. Otro elemento parece haber resultado crucial sobre la suerte del sistema copernicano, su obra consistía en una serie de cálculos en un **lenguaje matemático sumamente complejo**, hecho que dificulto la recepción de la obra. El libro resulto revolucionario para la gente del ámbito, pero poca gente fuera logro comprender las consecuencias que de él se derivaban. Esto hizo que tardase más un movimiento de oposición.

La publicación del libro fue acompañada por un prefacio anónimo (**Andrea Osiander**) donde sugería que el sentido del libro era meramente instrumental al igual que lo era el sistema de Ptolomeo. **No pretendía dar una descripción real del universo si no un medio para su estudio y cálculos matemáticos**. Asimismo, los historiadores de la ciencia se muestran bastante desconfiados respecto del carácter revolucionario de la obra copernicana y señalan varios aspectos en los que Copérnico se mantiene dentro de la tradición anterior. Se aferra a las convicciones de; **esfera celeste, orbitas circulares, movimiento uniforme**. Esto fue lo que lo obligo a utilizar varios recursos que utilizaban los astrónomos de la época, como epiciclos menores y excéntricas. Asi Kuhn afirma: “considerando globalmente, *De Revolutionibus* se sitúa casi por completo en la tradición astronómica y cosmológica de la antigüeda”. Concepto de **Imputeus**: la tierra al estar en movimiento imprime a la piedra que es arrojada hacia arriba el mismo movimiento y este sigue a la tierra en movimiento después de abandonarla.

La explicación de los movimientos celestes: Para dar cuenta de los movimientos observados, Copérnico atribuye a la tierra tres tipos de movimientos circulares que se dan en simultaneo; **uno diario sobre su eje**, **otro anual alrededor del sol** y uno **cónico de su eje de rotación** (innecesario).

Rotación diaria: Tierra gira diariamente hacia el este sobre su eje; tarda 23 hs y 56 minutos en completar el giro. Esto describe los círculos aparentes que describen diariamente las estrellas, el sol, la luna y los planetas en sentido contrario. Si la tierra esta situada dentro de la esfera estelar – que ahora es fija – y completa diariamente una revolución hacia el este alrededor de su eje, se tendrá la sensación de que los objetos en el cielo se mueven hacia el oeste.

Movimiento orbital anual: La tierra se desplaza anualmente hacia el este a lo largo de su órbita y completa su revolución en un año. La eclíptica es la intersección de la esfera celeste con el plano en que se desplaza la tierra (antes del sol). Este movimiento orbital de la tierra permite dar cuenta del movimiento aparente del sol a lo largo de la eclíptica. Los movimientos son circulares. En este movimiento, la tierra se desplaza junto con los demás planetas, cada uno de los cuales completa una vuelta en un determinado tiempo. Mas lejos del sol, mayor el tiempo de dar la vuelta. Copérnico pudo calcular la distancia de los planetas al sol y determinar con precisión el tiempo que insume cada planeta en completar una revolución; y pudo, así, conferirles finalmente un orden. Este movimiento **permite dar cuenta de las estaciones**. La tierra se desplaza hacia el este a través de la eclíptica; también el eje de la tierra no es perpendicular al eje de la esfera celeste, si no que se encuentra levemente inclinado (23 grados y medio), y que se mantiene así a lo largo de todo el recorrido. Al girar la tierra alrededor del sol ira variando el ángulo en el que incide el sol. Finalmente, este movimiento también permite explicar el **movimiento retrógrado de los planetas**. Consideremos un planeta que se encuentra entre la Tierra y la esfera de las estrellas; ahora ambos son planetas en movimiento y ocupan distintas posiciones a lo largo de su revolución alrededor del Sol (recordemos que cada uno empleará un tiempo diferente en completar esa revolución). La siguiente imagen presenta las dos órbitas e identifica las posiciones de la Tierra y del planeta como t1, t2, t3… y p1, p2, p3… Lo que el observador percibe es la proyección de ese planeta sobre el fondo de las estrellas fijas (identificadas en el dibujo con números), fondo que ahora permanece inmóvil Se reproduce así el movimiento retrógrado de los planetas.



En principio bastaba con siete círculos para explicar los movimientos planetarios, uno para el sol y otros seis para los planetas conocidos. Sin embargo el sistema copernicano no permitía predecir los movimientos planetarios de forma exacta. Copérnico debo apelar a epiciclos menores y a excéntricas, al punto de obtener un sistema tan complejo como el que intentaba remplazar. No podemos afirmar que el sistema copernicano se impuso por ser mas sencillo y por contar con mayor apoyo empírico que el de ptolomeo.

La consolidación del heliocentrismo

El sistema copernicano se enfrento a muchas dificultades por ser complicado, y no resultaba compatible con la física imperante y con ciertas observaciones astronómicas. Copérnico estaba comprometido que las orbitas planetarias eran circulares, fue víctima de “la maldición del circulo” símbolo de perfección para los griegos. **Johannes Kepler** en 1609 publico **Astronomia nova** donde establecía que las órbitas planetarias son elípticas y que el sol se ubicaba en uno de sus focos. Esto simplificaba el sistema copernicano, permitía prescindir de los epiciclos que allí subsistían. El mismo año de la publicación de Kepler, **Galileo Galilei** utiliza un telescopio para realizar observaciones astronómicas sistemáticas. Los resultados fueron sorprendentes, fueron plasmados en su obra **Sidereus nuncius** (el mensajero sideral). Galileo pudo observar; el paisaje de la luna no era de un círculo perfecto (como lo indicaba la tradición aristotélica). El sol tenía manchas, muestra también de cierta imperfección. Observo muchas más estrellas, entre ellas 4 que giraban alrededor de Júpiter y que formaban así un pequeño sistema. La tierra dejaba de ser la única que contaba con su luna. Asi, el sistema copernicano dejaba de ser solo un sistema matemático, y podía reclamar relevancia física y cosmológica. La contribución de Galileo habría de ser decisiva. Su aporte no se reduce a las observaciones, el pone en cuestión algunas leyes aristotélica, como la del tiempo de caer un objeto. Galileo fue quien logro sentar las bases de una nueva física acorde con una tierra ahora en movimiento, labor que sería completada en manos de Isaac Newton. Muchos filósofos sostienen que **Sobre las revoluciones**… no es un texto revolucionario, aunque haya tenido revolucionarias consecuencias. La necesidad de una física distinta es tan solo una de las demandas que esta nueva astronomía impuso. A su vez, el tamaño de los círculos tuvo que ser extendido en proporciones gigantescas- para que los cálculos permitiesen predicciones exitosas- y así se dio el primer paso hacia la concepción de un universo infinito; inexplorable en su totalidad. La descentralización de la tierra implica un cambio sustancial en la forma de concebir el lugar del ser humano en el universo. Este es desplazado del centro y la tierra deja de ser objeto especial rodeado de astros. La tierra es un planeta mas, los otros planetas también pueden tener vida. Se pasa a la incertidumbre sobre la vida en el resto del universo. Y sigue, ahora mismo estamos viviendo otro momento interesante de cambio en la cosmología; la teoría de los multiversos; no solo hay un universo; podría haber infinitos.