

Geometrotermodinámica

Hernando Quevedo
Instituto de Ciencias Nucleares
UNAM

PLAN

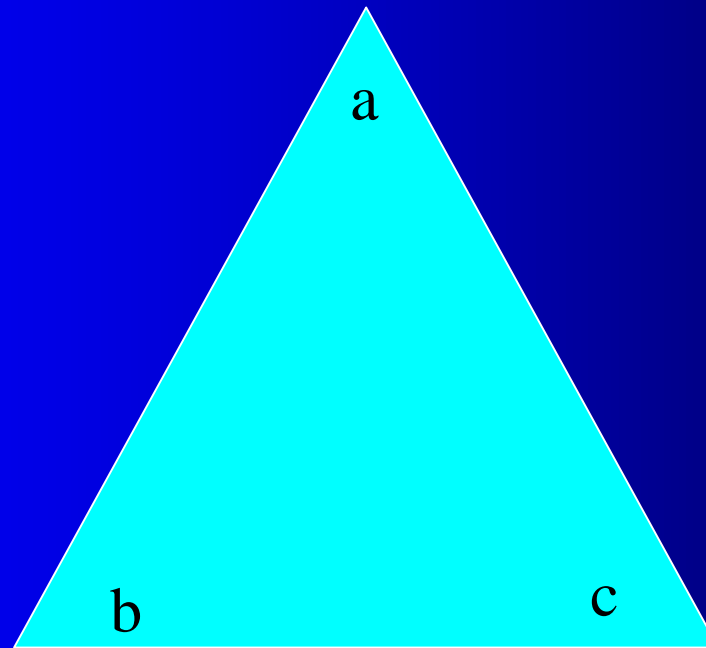
- **Geometría plana y curva**
- **Aplicaciones: Relatividad general y teoría de campos**
- **Termodinámica: Geometrotermodinámica**
- **Ejemplos: Gas ideal, gas de van der Waals, sistemas económicos**

GEOMETRÍA DE EUCLIDES

Axiomas de Euclides

- 1. Desde cualquier punto se puede trazar una recta a cualquier otro punto*
- 2. Toda recta se puede prolongar indefinidamente*
- 3. Con cualquier centro y cualquier distancia se puede trazar un círculo*
- 4. Todos los ángulos rectos son iguales*
- 5. Por un punto exterior a una recta existe una sola paralela la recta dada*

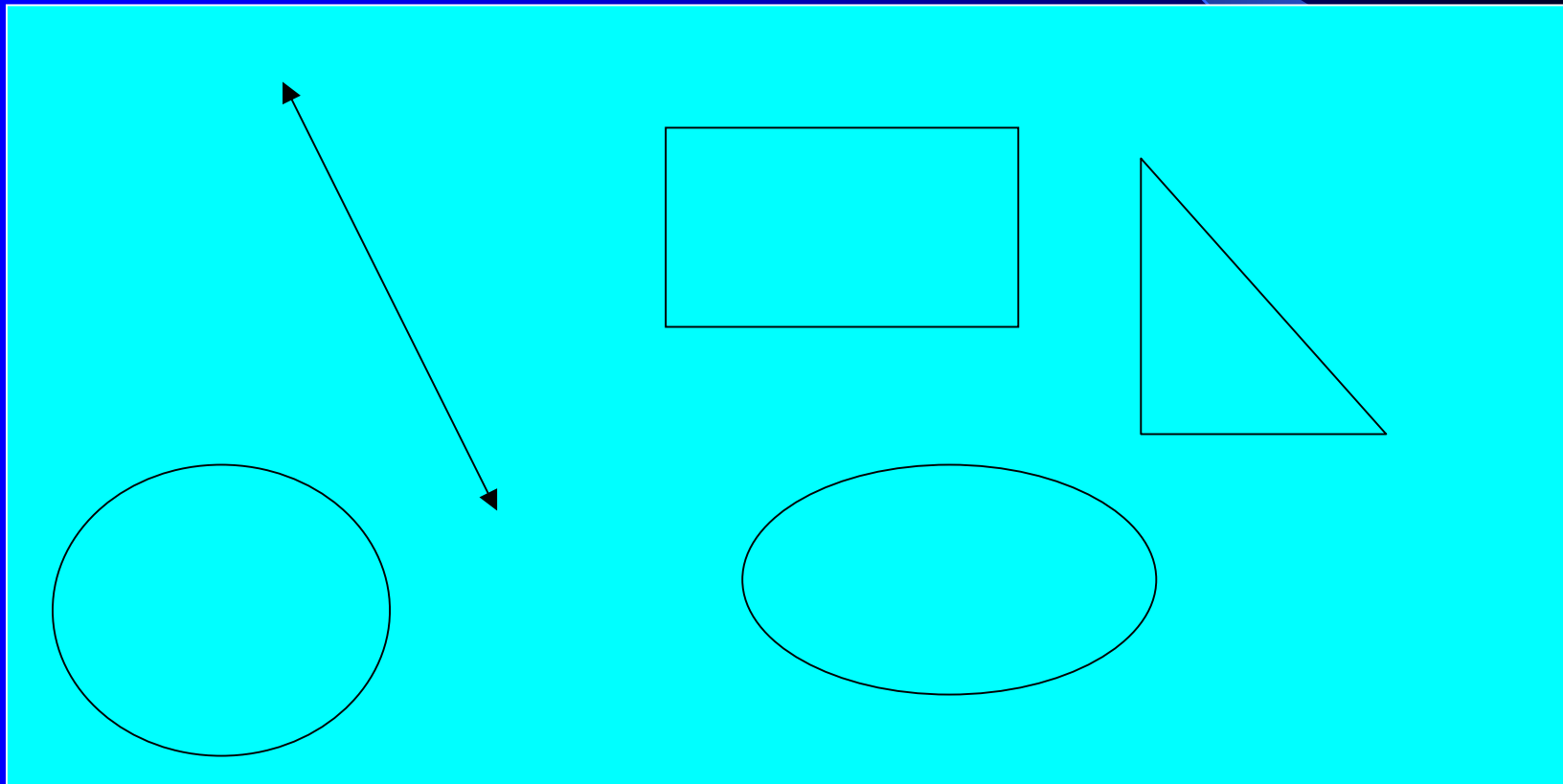
Corolario



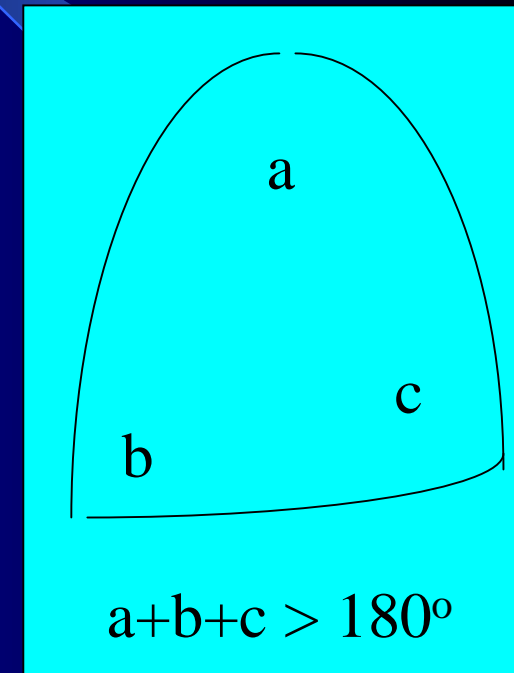
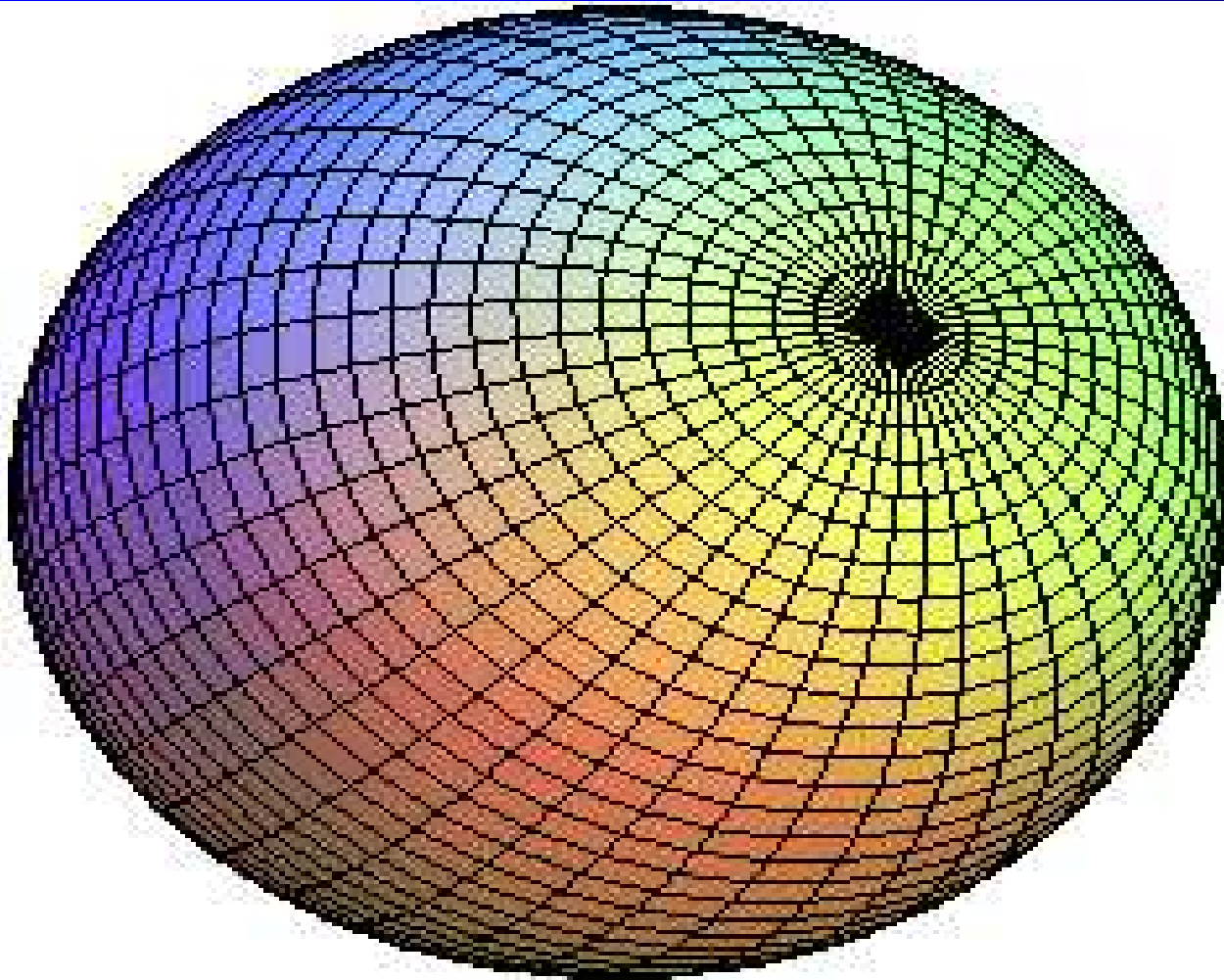
$$a + b + c = 180^\circ$$

Consecuencia más importante

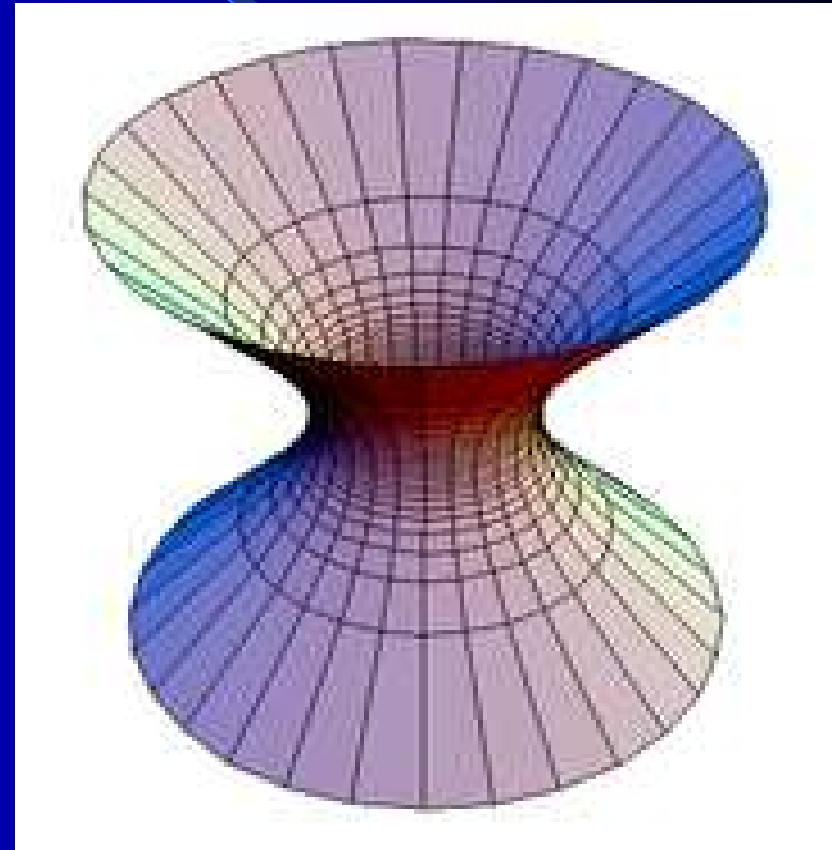
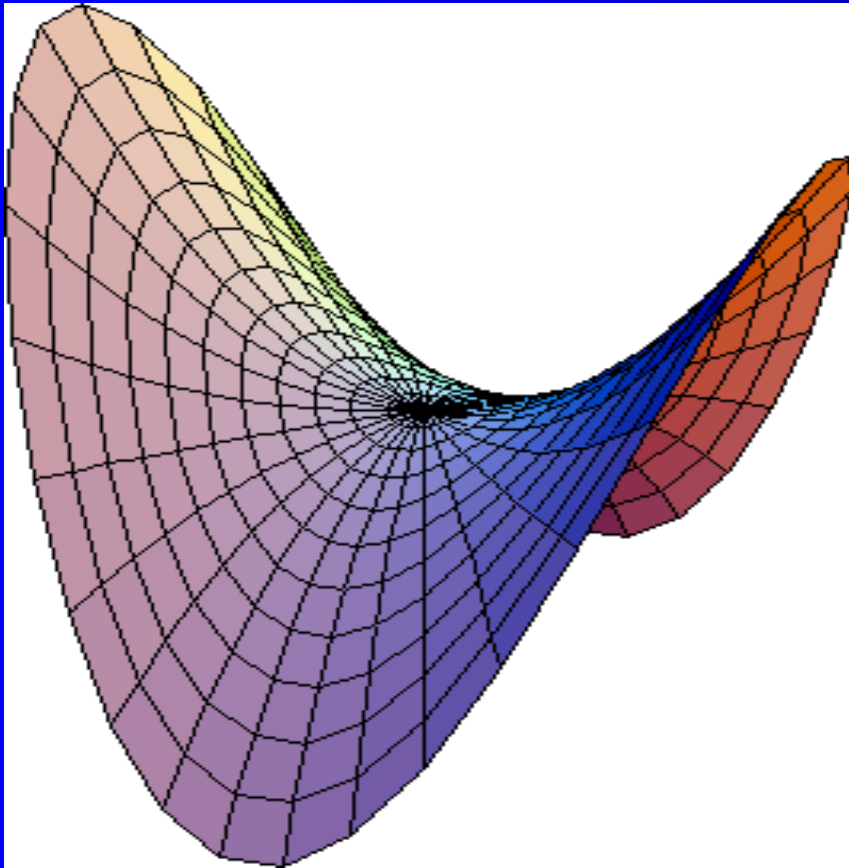
- *Geometría de Euclides = Geometría del plano*



Geometría de Riemann-Lobachevsky (no Euclidiana)



Geometrias no Euclidianas

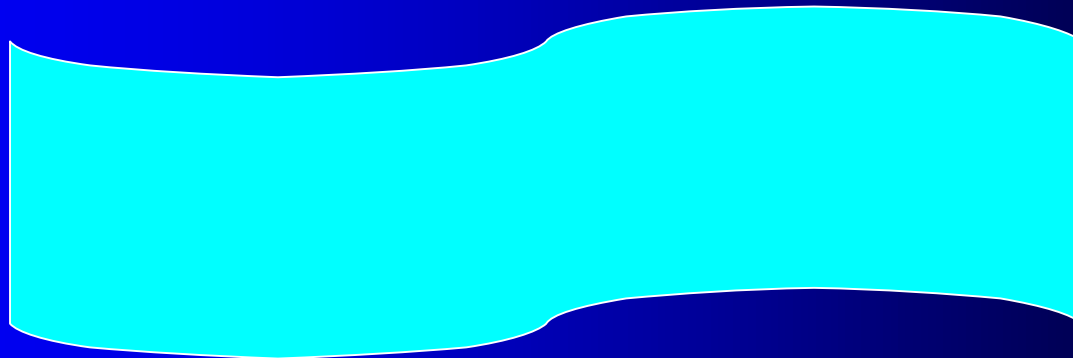


Tipos de geometría

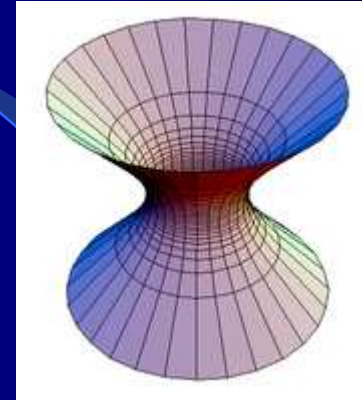
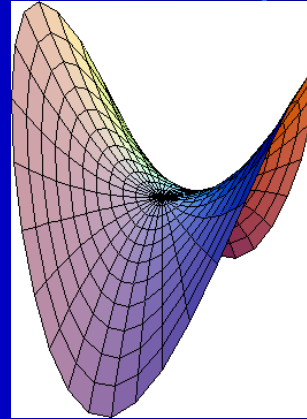
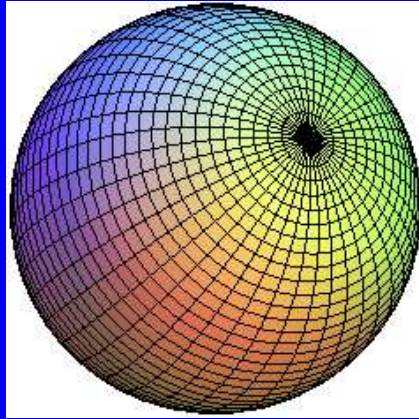
- Geometría Euclidiana = Curvatura cero



Geometría no Euclidiana = Curvatura no cero



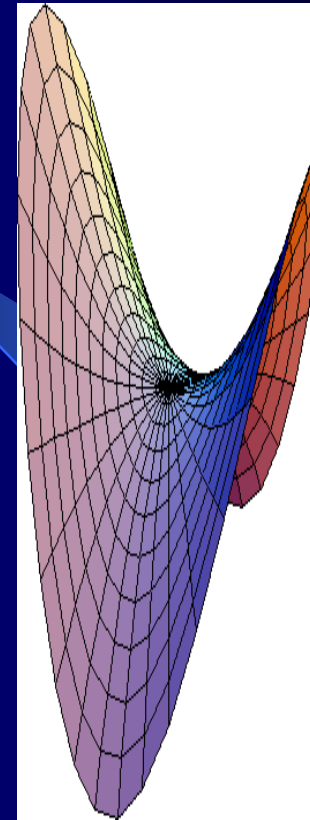
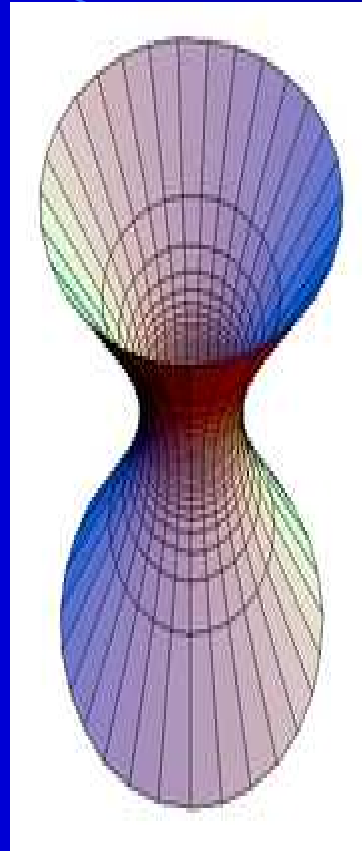
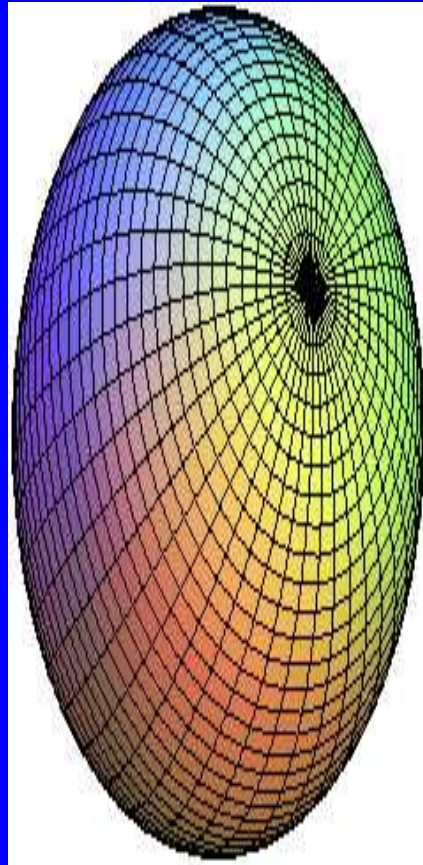
Matriz de Curvatura



$$C_{ab} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} \end{pmatrix}$$

En 3 dimensiones: 6 componentes independientes

Matriz de curvatura en 4 dimensiones = 10 componentes



$$C_{ab} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{34} \\ C_{14} & C_{24} & C_{34} & C_{44} \end{pmatrix}$$

Postulado de Einstein

Geometría = Materia/Física

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{34} \\ C_{14} & C_{24} & C_{34} & C_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{12} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{13} & M_{23} & M_{33} & M_{34} \\ M_{14} & M_{24} & M_{34} & M_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & J_{14} \\ P_{12} & P_{22} & P_{23} & J_{24} \\ P_{13} & P_{23} & P_{33} & J_{34} \\ J_{14} & J_{24} & J_{34} & E_{44} \end{pmatrix}$$

$P_{..}$ = Presión

$J_{..}$ = Momento angular

E_{44} = Energía = mc^2 + energía cinética

La materia se describe mediante la geometría de un objeto en 4 dimensiones

*Nuestro Universo = Objeto de 4 dimensiones = Espacio + Tiempo =
ESPACIOTIEMPO*

TEORIA GENERAL DE LA RELATIVIDAD DE EINSTEIN

- *LA FISICA DE NEWTON:*

1. El tiempo es absoluto
2. El espacio es absoluto
3. La “materia” no influye sobre el espacio ni el tiempo



Materia

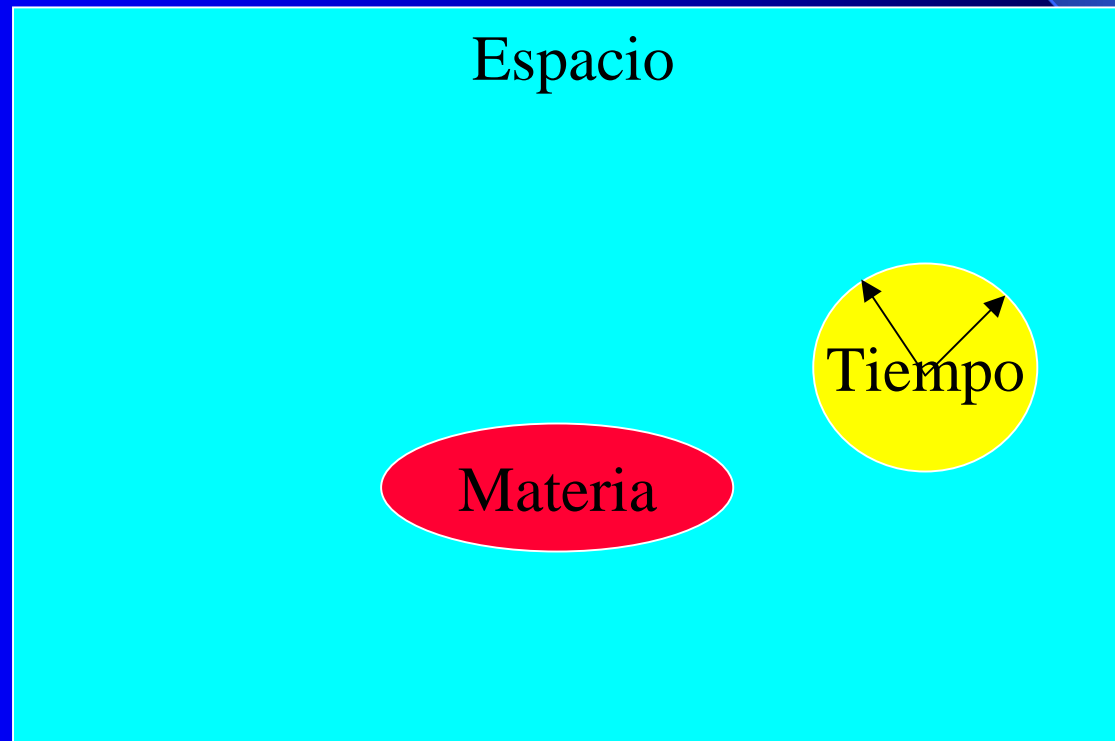
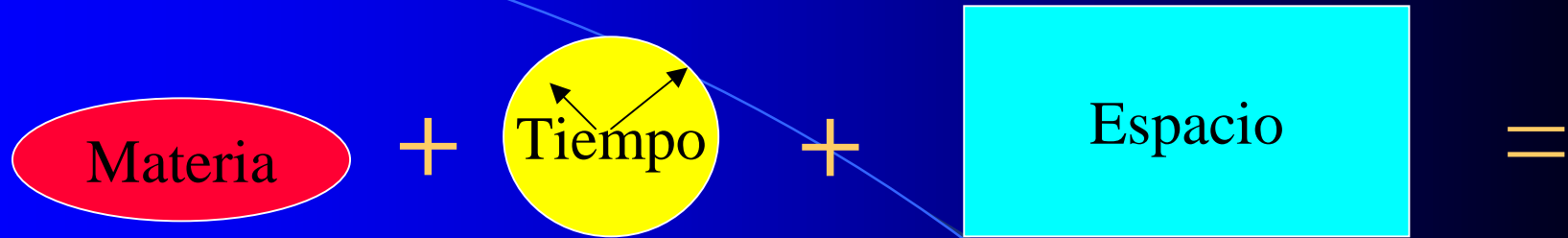


Tiempo



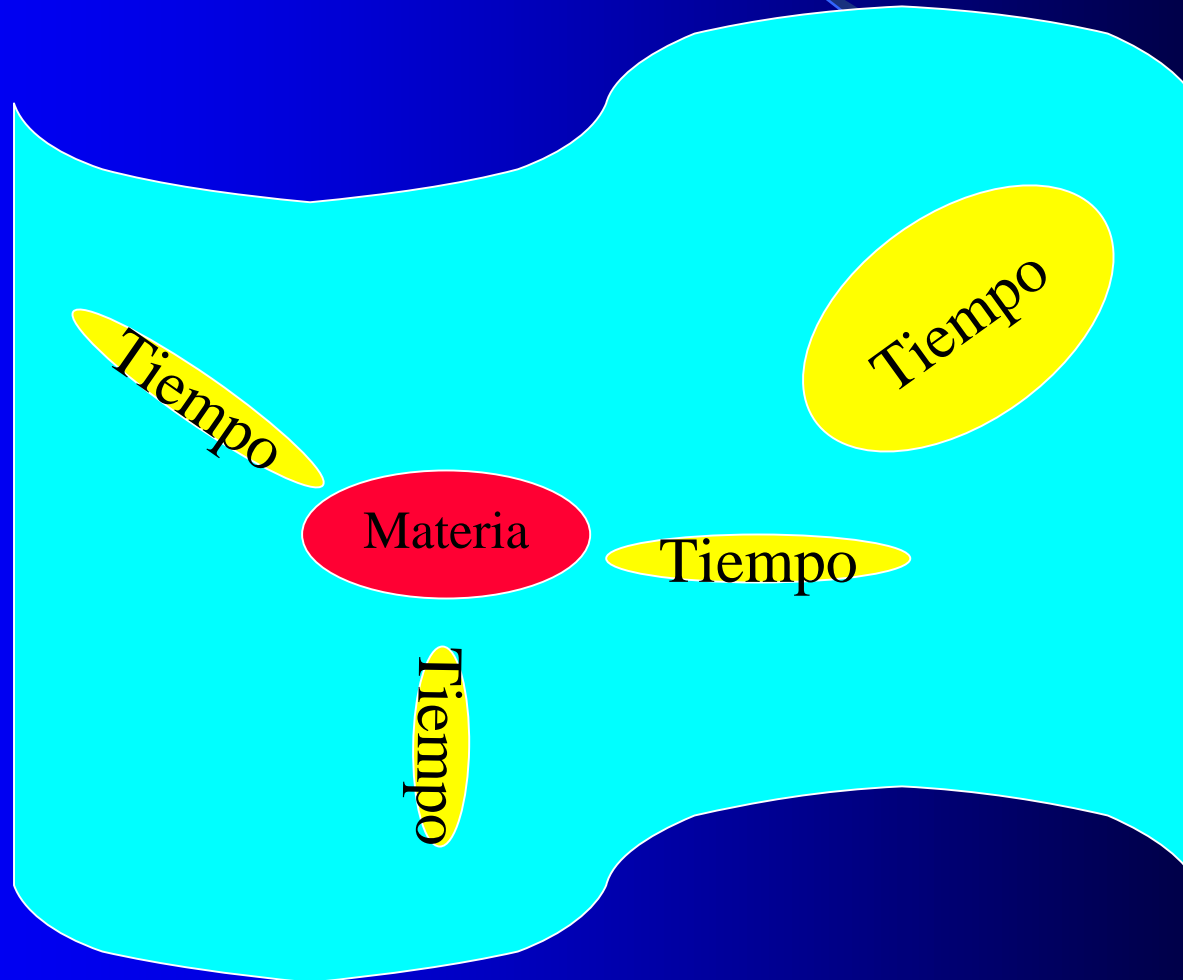
Espacio

FISICA ABSOLUTA DE NEWTON:



FISICA RELATIVISTA DE EINSTEIN

$$\text{Materia} + \text{Tiempo} + \text{Espacio} =$$



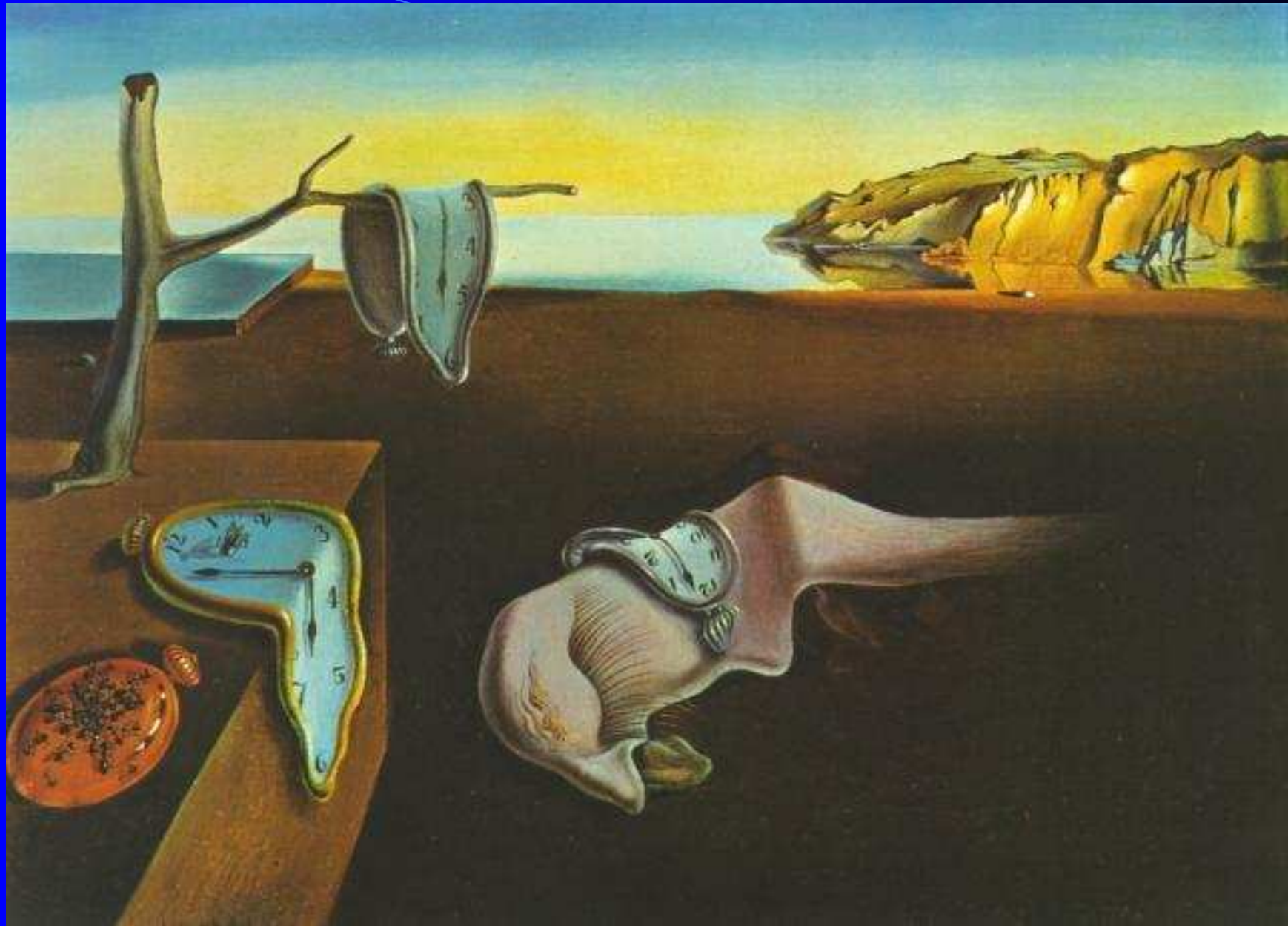
TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

- El tiempo es relativo
- El espacio es relativo
- El espaciotiempo es relativo
- **Fuerza gravitacional = Curvatura del espaciotiempo**

(4 dimensiones)

- **GEOMETRODINAMICA**

La Persistencia de la memoria, Salvador Dali '31

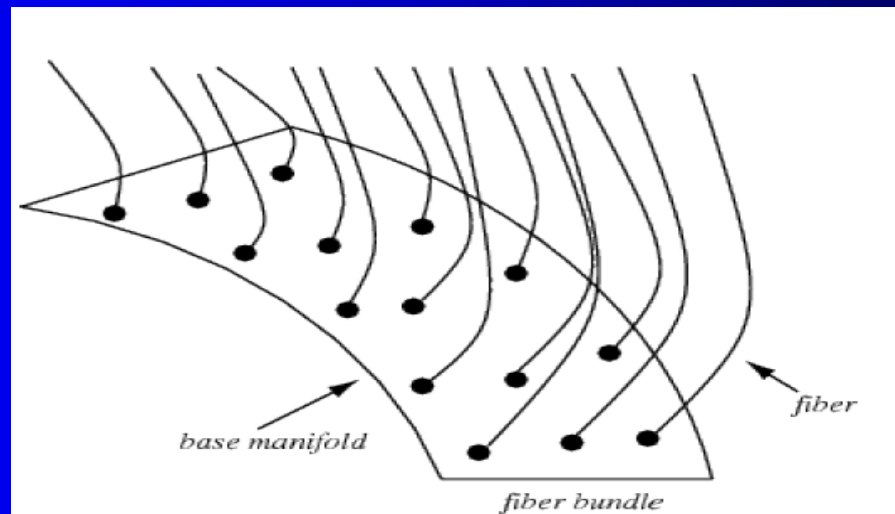


TEORÍAS DE YANG-MILLS (1953)

La geometría de Riemann-Lobachevsky sirvió para describir la gravitación.

¿Hay más geometrías que se puedan utilizar en la física?

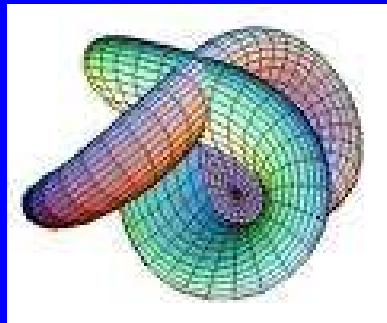
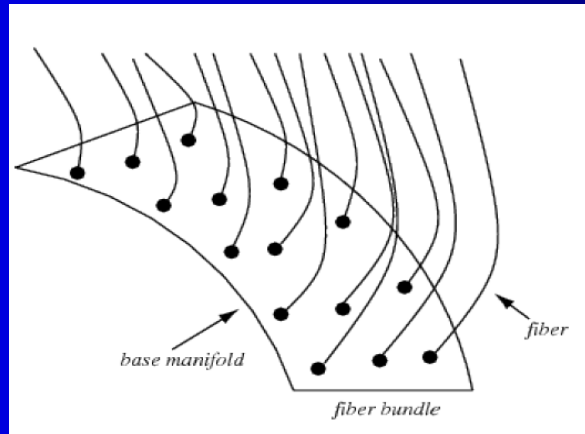
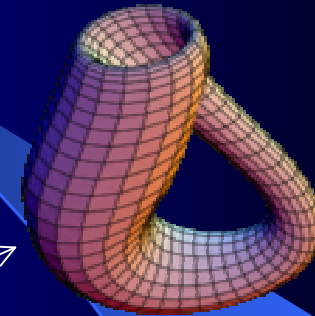
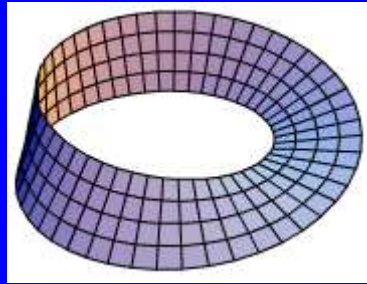
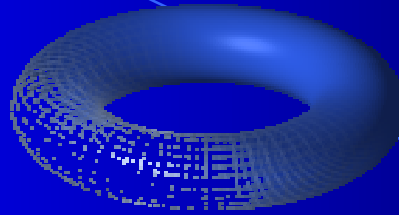
*** Geometrías de Yang-Mills (haces fibrados) ***



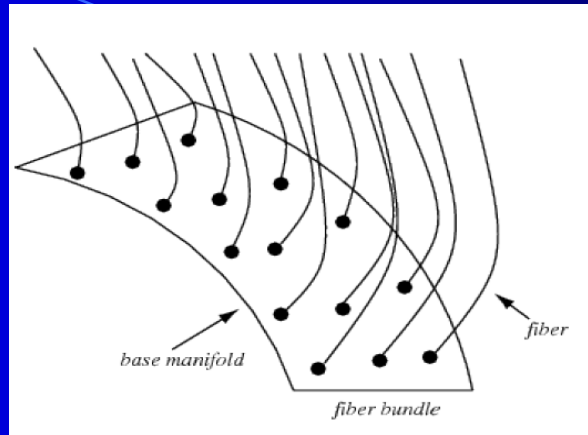
3D GEOMETRIAS DE YANG-MILLS

Base = 2D

Fibra = 1D



GEOMETRIAS DE YANG-MILLS CON DIM > 4



Base = 4D (esp.tiempo)
Fibra = **1D** SU(1)
ELECTROMAGNETISMO

Base = 4D (sp.tiempo)
Fibra = **8D** SU(3)
FUERZA FUERTE

Base = 4D (esp.tiempo)
Fibra = **3D** SU(2)
FUERZA DEBIL

FUERZA ... = CURVATURA DEL HAZ

EINSTEIN Y LA TERMODINAMICA

Albert Einstein once said, “Thermodynamics is the only physical theory of general nature of which I am convinced that it will never be overthrown.”

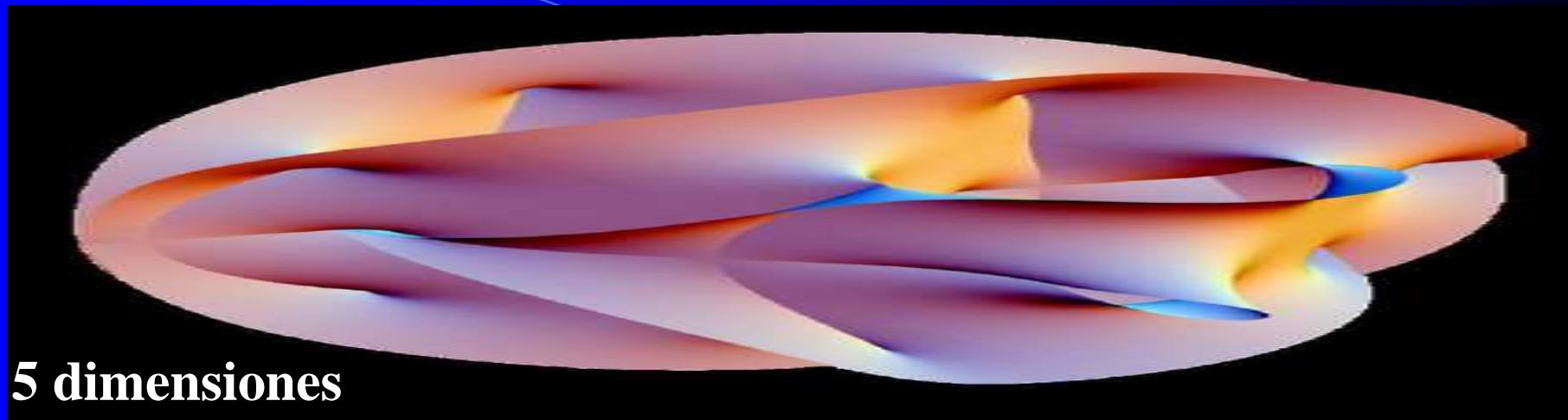
Es posible describir la termodinámica mediante una geometría tal que

FUERZA TERMODINAMICA = CURVATURA DEL ESPACIO?

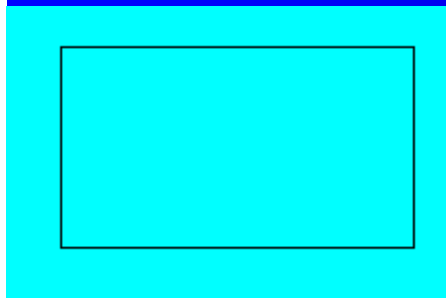
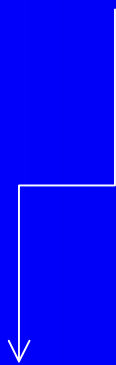
Sí, con

GEOMETROTERMODINAMICA

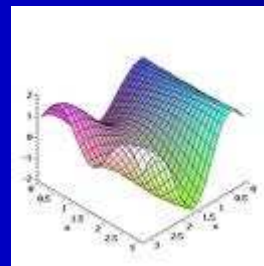
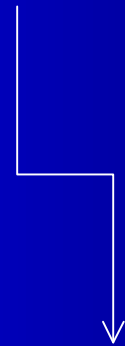
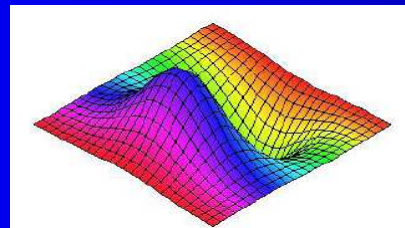
LA IDEA DE LA GEOMETROTERMODINAMICA



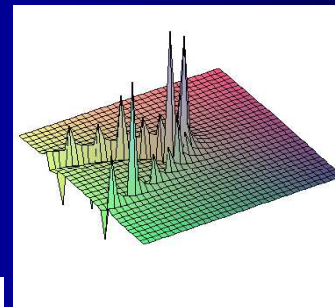
5 dimensiones



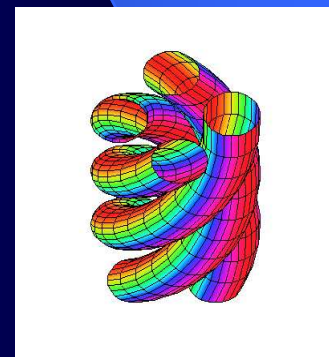
gas ideal



2 dimensiones

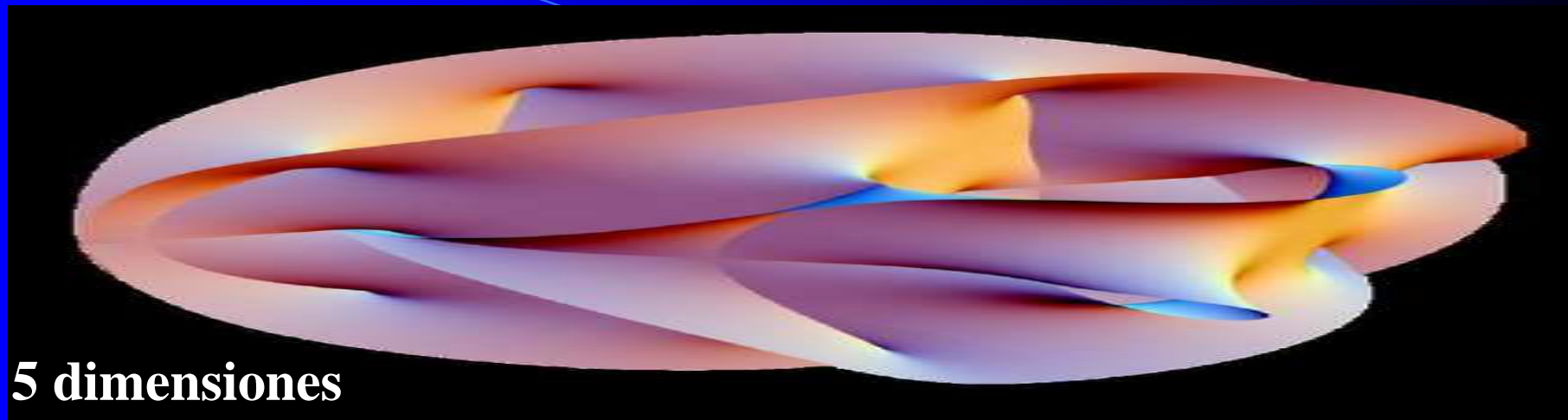


agua

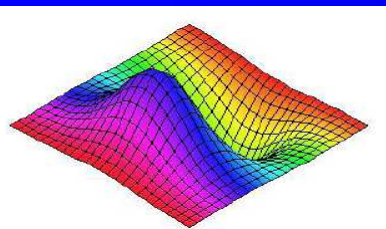


compuestos
químicos

LA IDEA DE LA GEOMETROTERMODINAMICA

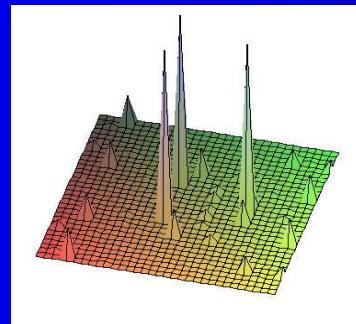


5 dimensiones

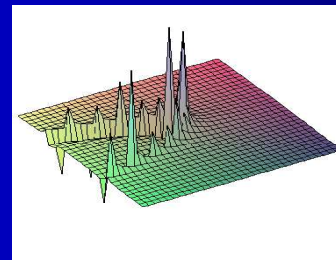
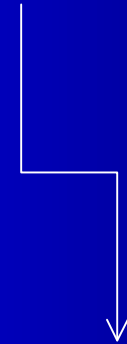


Ley de Boltzmann

ECONOFISICA



Ley de Pareto



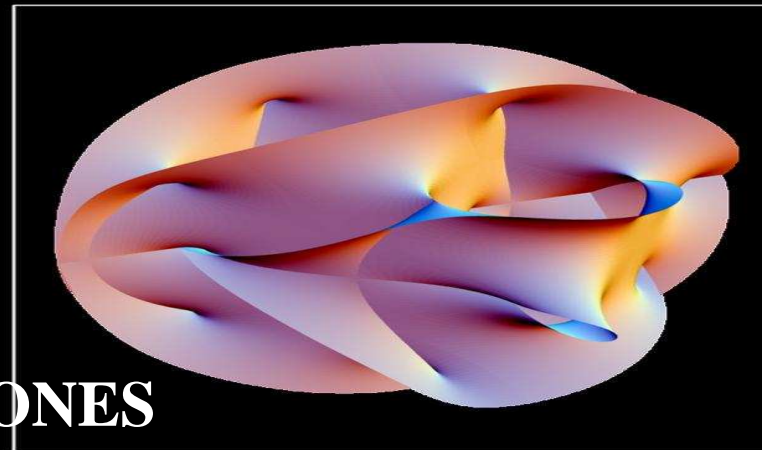
Hoyos negros

FISICA DE HOYOS NEGROS



LA IDEA DE LA GEOMETROTERMODINAMICA

5 DIMENSIONES



Шестимерное пространство
Калаби-Яу
Красиво, не правда ли?

DEMOTIVATORS.RU

JOURNAL OF MATHEMATICAL PHYSICS 48, 013506 (2007)

Geometrothermodynamics

Hernando Quevedo^{a)}

*Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México,
A.P. 70-543, 04510 México D.F., Mexico*

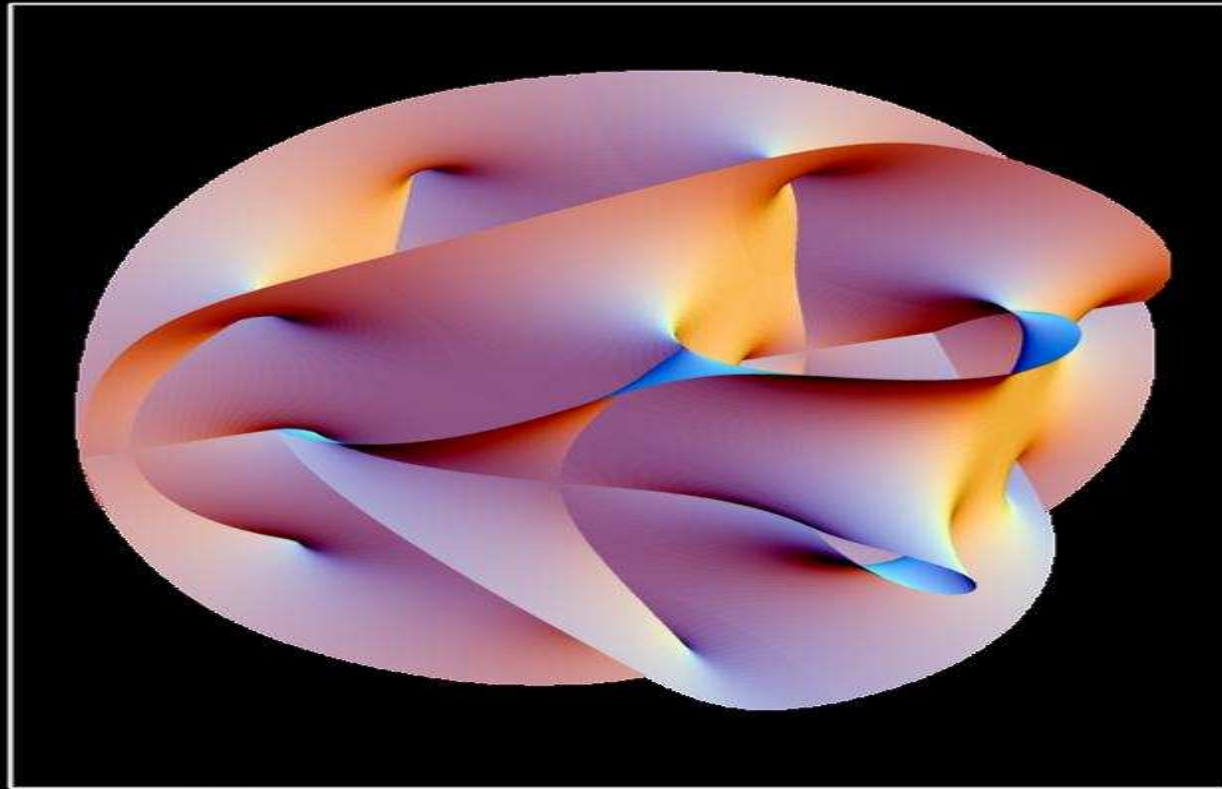
OTROS GRUPOS:

Brasil, China, España, EUA,
Italia, Inglaterra, Japón,
Pakistán, Suecia.

UNAM

J. L. Alvarez, S. Cruz, O. Jaimes, L. Plascencia,
H. Quevedo, A. Ramírez, A. Sánchez, D. Soto,
A. Vázquez, R.D. Zárata

GEOMETROTERMODINAMICA

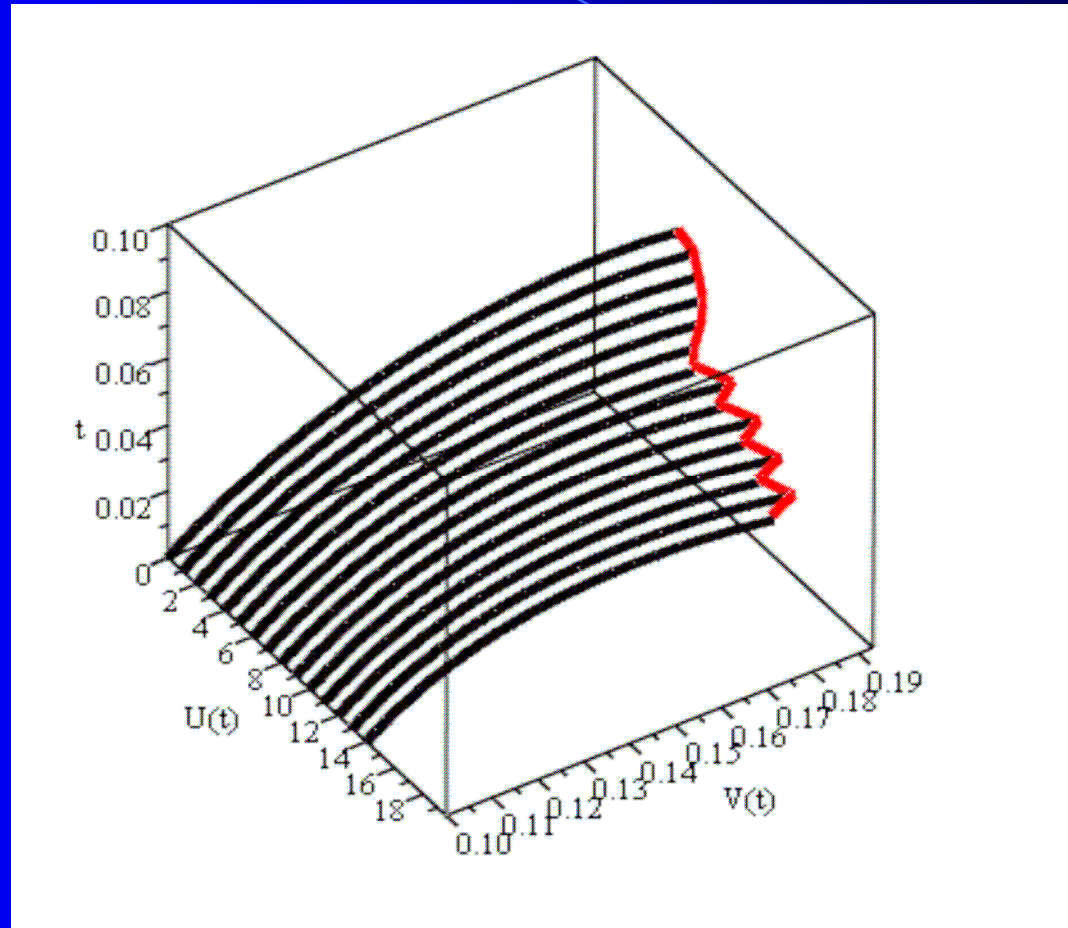


Шестимерное пространство
Калаби-Яу
Красиво, не правда ли?

DEMOTIVATORS.RU

Resultado principal:
Interacción termodinámica = Curvatura
Transiciones de fase = Singularidades de curvatura

GAS DE VAN DER WAALS: ESPACIO CURVO



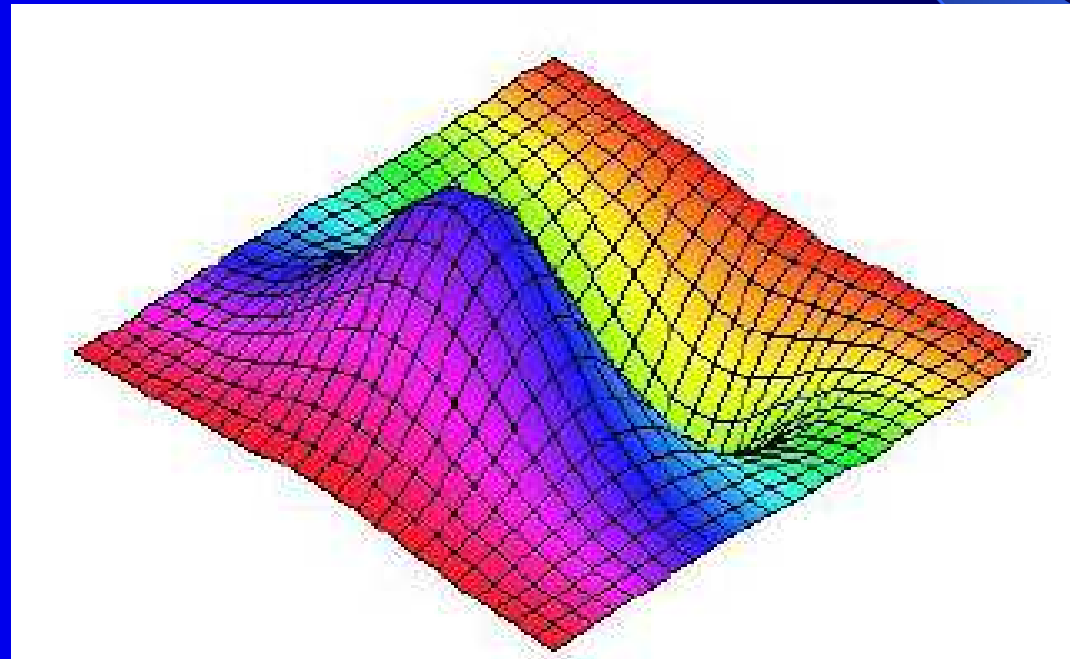
Transiciones de fase:

$$PV^3 - aV + 2ab = 0$$

SISTEMA ECONÓMICO: LEY DE BOLTZMANN

(m =cantidad de dinero de un agente)

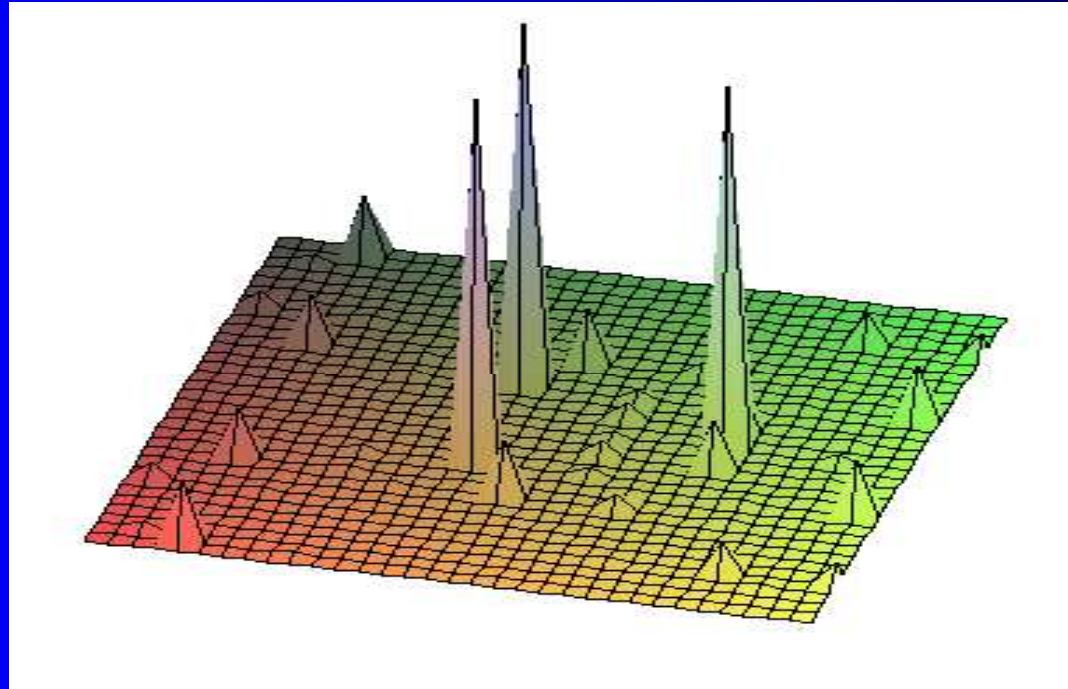
$$\rho(m) \propto e^{-m/M}$$



Sin transiciones de fase

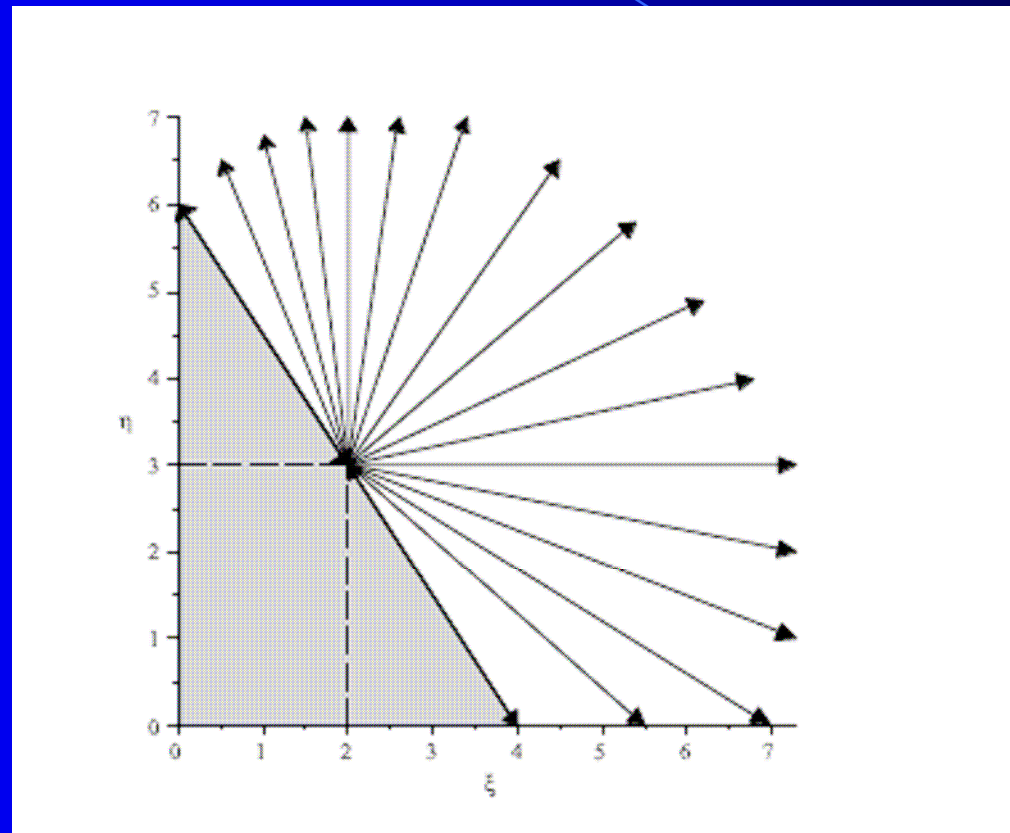
SISTEMA ECONÓMICO: LEY DE PARETO

$$\rho(m) \propto \frac{1}{m^{1+\alpha}} \quad \alpha = \text{const.}$$



Con transiciones de fase

GAS IDEAL: ESPACIO PLANO



CONCLUSIONES

Geometrotermodinámica: Descripción geométrica de la termodinámica

- GTD es invariante (no depende del potencial termodinámico)
- GTD es libre de contradicciones (matemáticamente exacto y congruente)
- Interacción termodinámica = Curvatura del espacio de equilibrio
- Transición de fase = Singularidad de curvatura
- Aplicable a: sistemas ordinarios,
sistemas económicos,
sistemas de campos,
sistemas exóticos (hoyos negros, etc.),
nuestro Universo, etc.