



# Webinar 22



**El proceso de diseño de redes presurizadas: métodos y retos.**

**Martín Rubén Jiménez Magaña**

**Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM**

6 de julio de 2020

# Contenido

## 1. Introducción

- 1.1 El agua en el mundo
- 1.2 La necesidad del abastecimiento
- 1.3 El sistema de abastecimiento

## 2. Diseño

- 2.1 Datos que se requieren
- 2.2 Métodos

## 3. Diseño de cámaras de aire como estructuras de protección

## 4. Los retos

- 4.1 En el diseño
- 4.2 En redes existentes

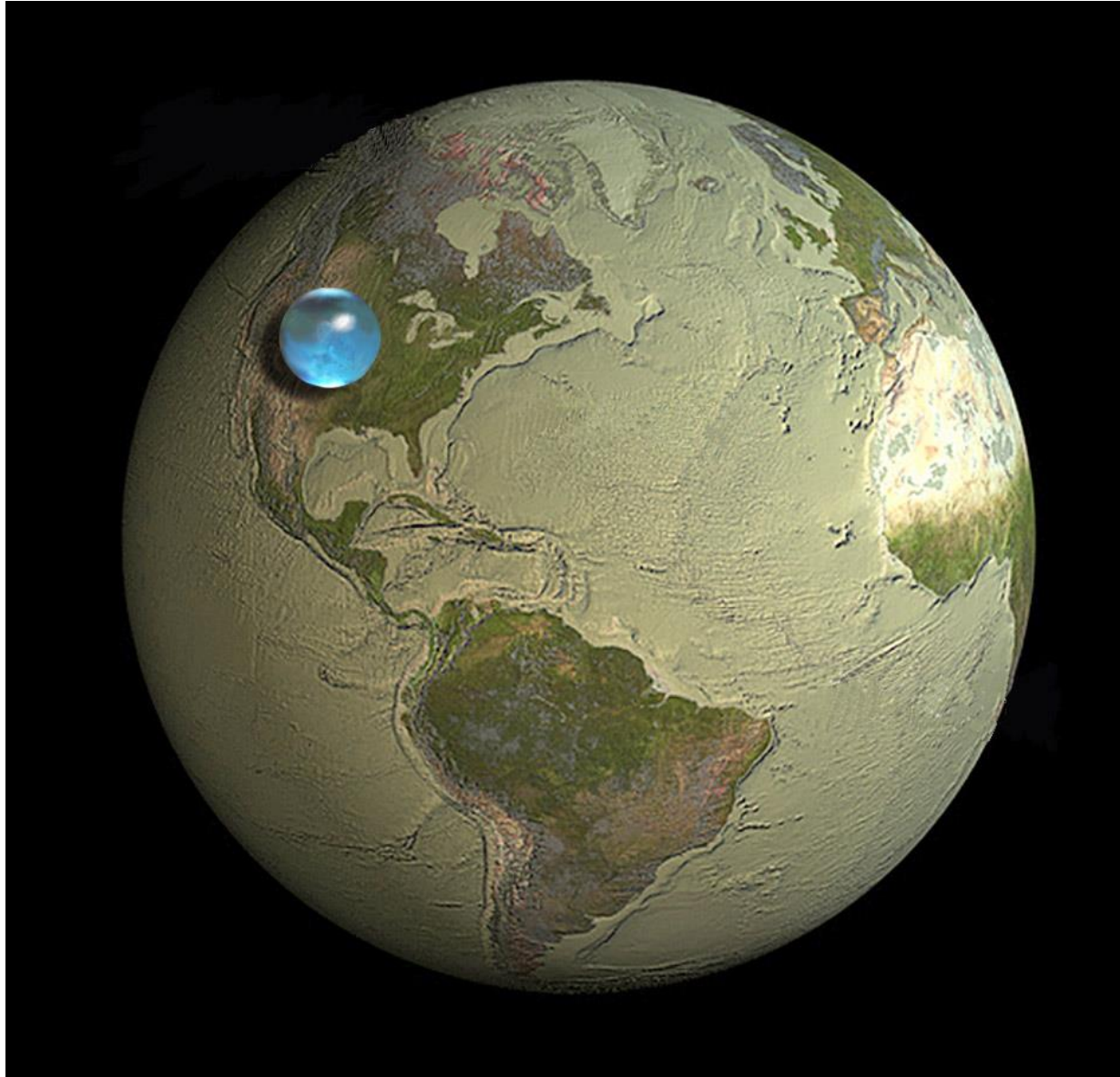
## 5. Reflexión final

## 6. Agradecimientos



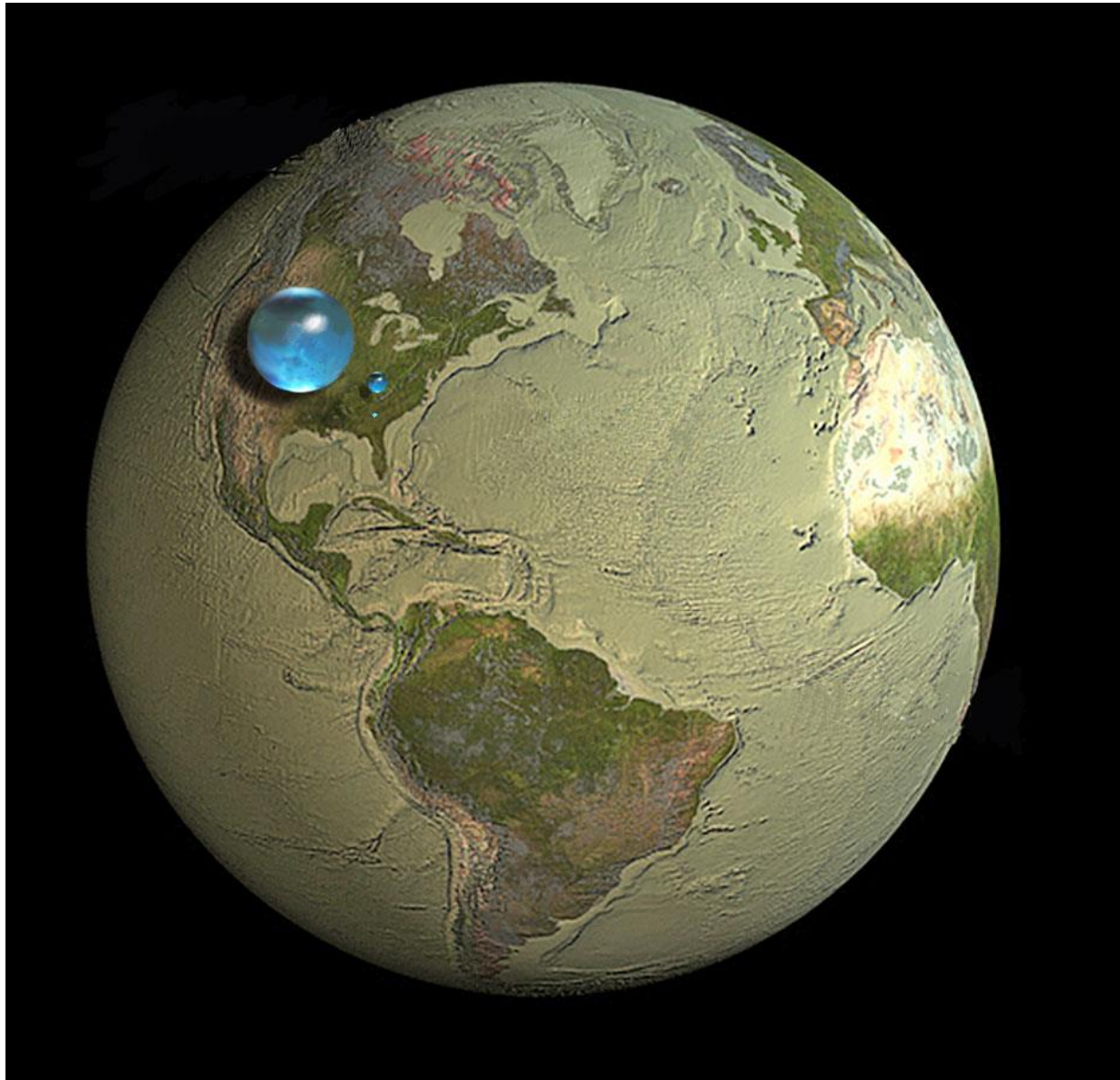


# Introducción



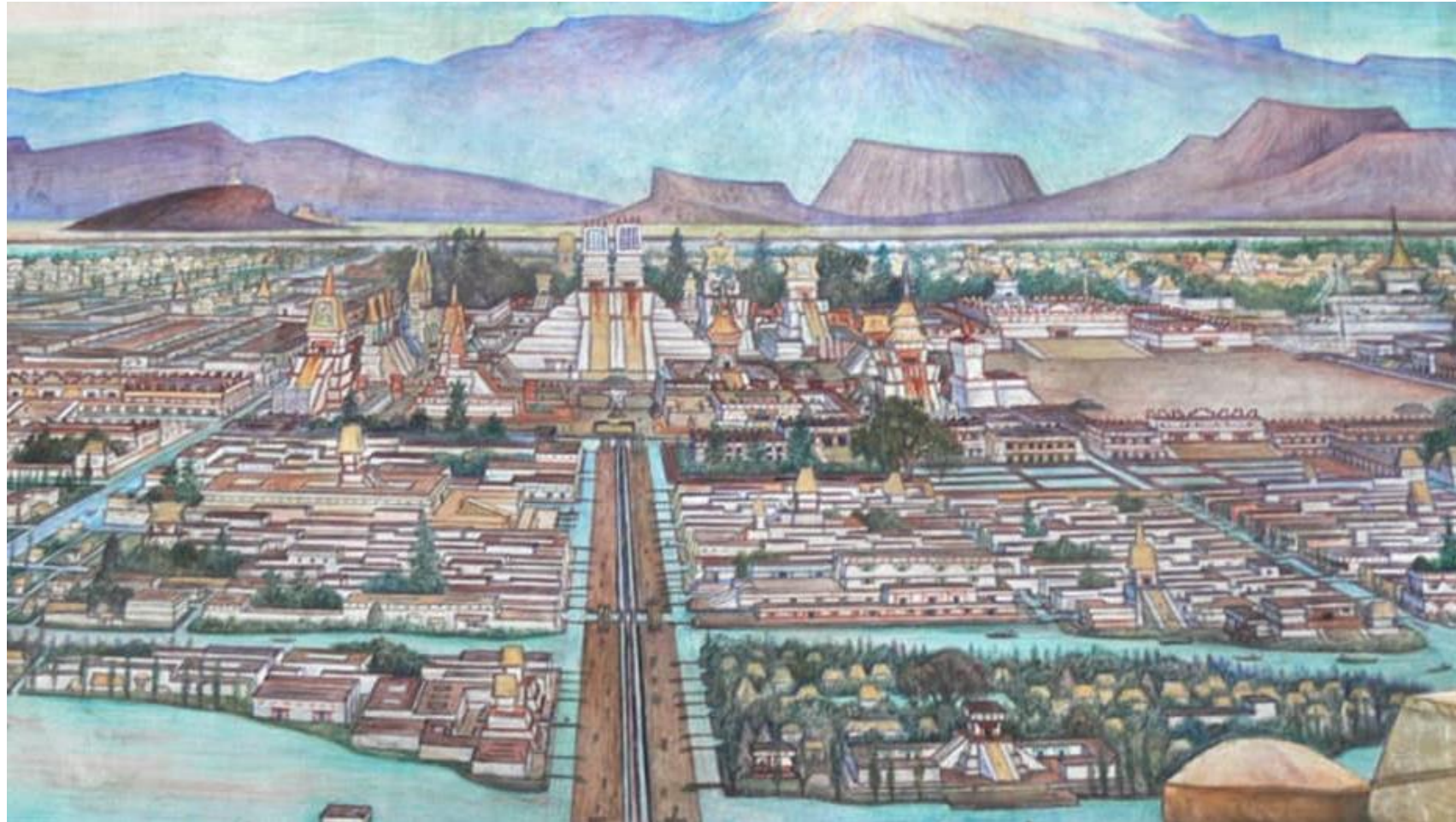
Créditos: Howard Perlman, Hydrologist, USGS, Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution, Adam Nieman, Igor Shiklamonov

# Introducción



Créditos: Howard Perlman, Hydrologist, USGS, Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution, Adam Nieman, Igor Shiklamonov







# ***Objetivo:***

**Desarrollar metodologías basadas en el computo evolutivo y el análisis hidráulico para diseñar redes presurizadas y estructuras hidráulicas óptimas, que además, ayuden a preservar el recurso.**

**Implementar módulos heurísticas-Epanet para resolver algunos de los problemas que se presentan en los sistemas de abastecimiento de agua potable existentes.**

# Sistema de abastecimiento de agua potable



- ❖ Diseño
- ❖ Calibración
- ❖ Rehabilitación
- ❖ Localización de fugas
- ❖ Control de presión
- ❖ Calidad del agua
- ❖ Fenómenos transitorios

# Objetivo de todo SAAP

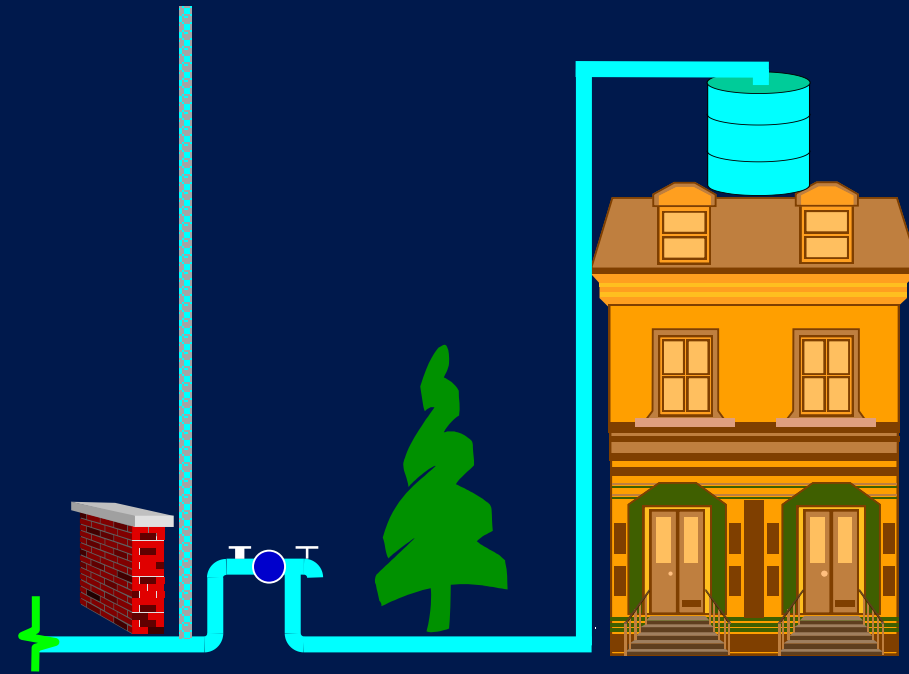


Si  $h_i < h_{mín}$



$Q=0$

Si  $h_i > h_{mín}$



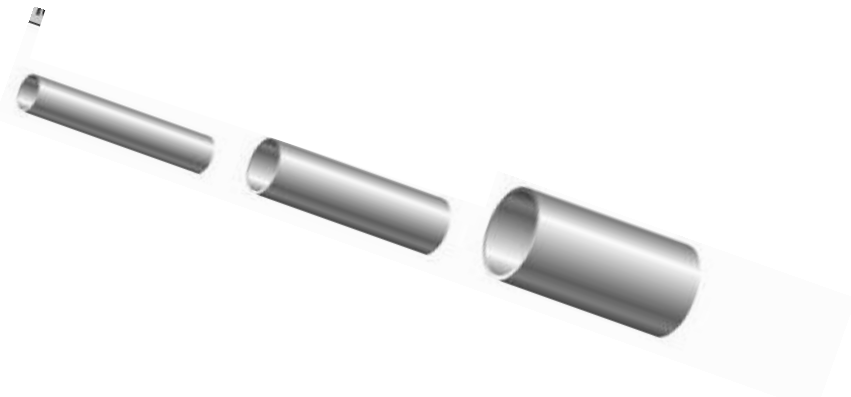
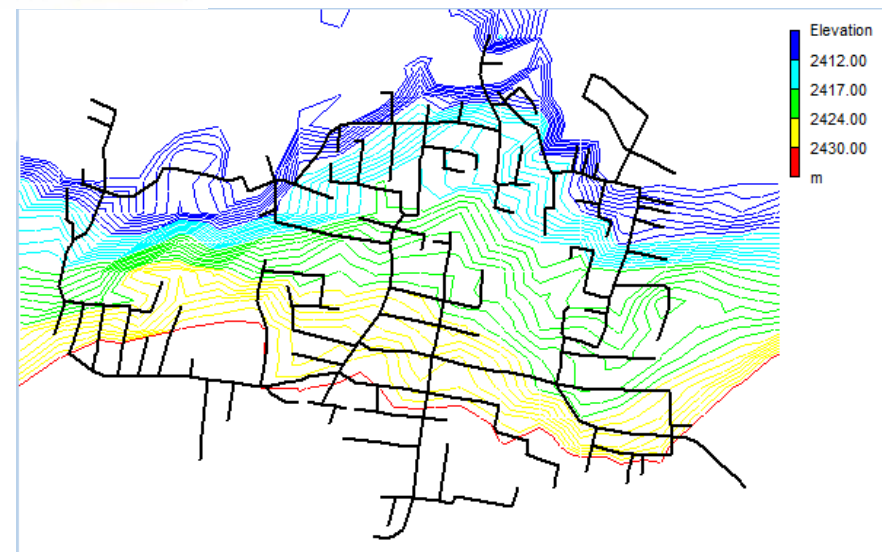
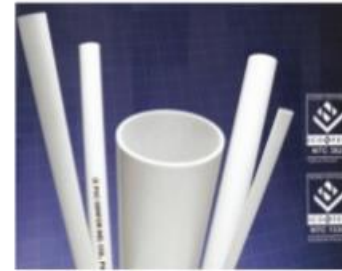
$Q>0$

Faustino de Luna.

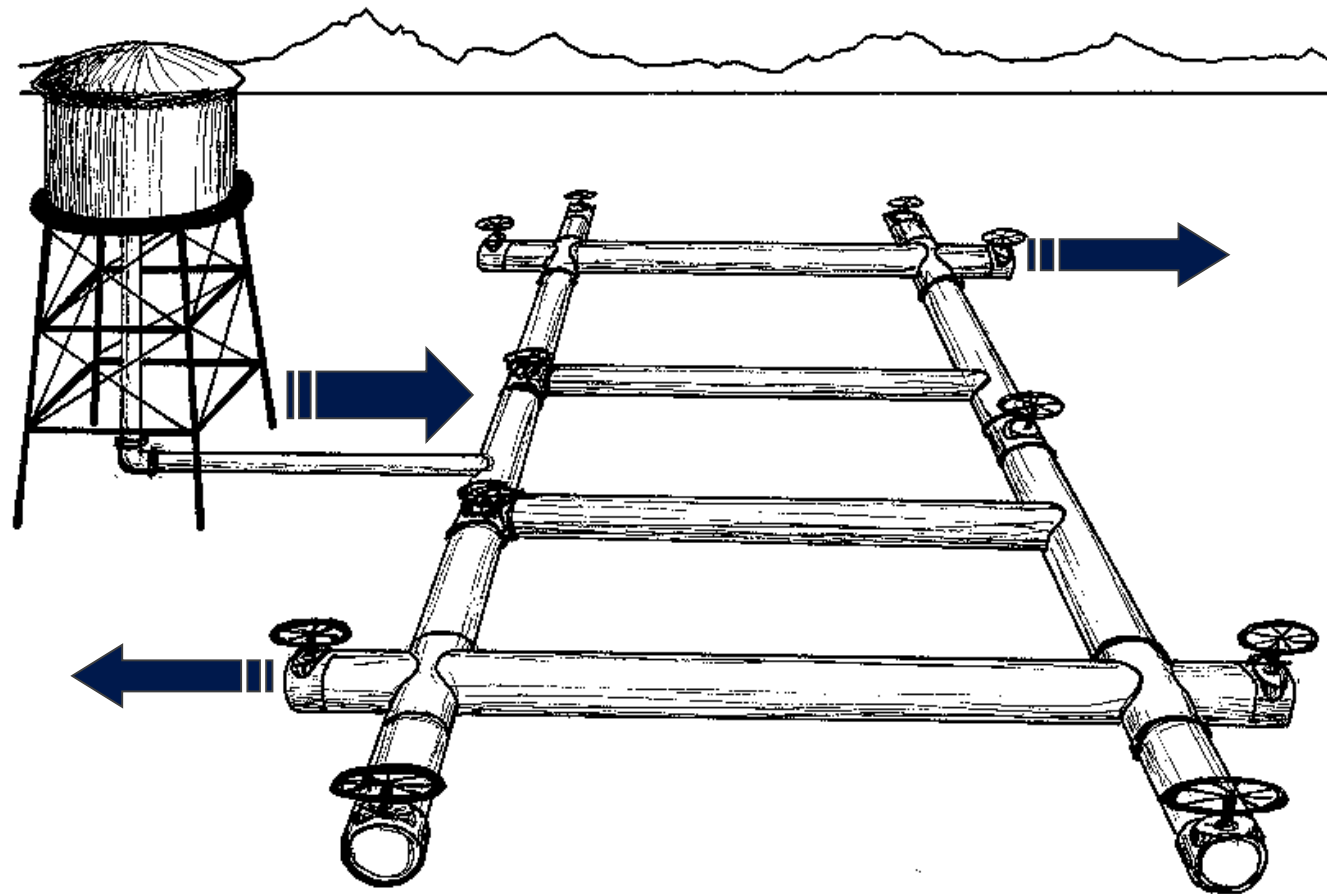


# Datos necesarios para el diseño

1. Trazo de la red
2. Topografía
3. Caudal a satisfacer
4. Material
5. Diámetros disponibles



# ¿En qué consiste el diseño?



PVC	2"
PEAD	4"
PRFV	6"
ACERO	8"
FoGo	10"
	12"

# ¿Por qué necesito alguna herramienta que me ayude a diseñar?

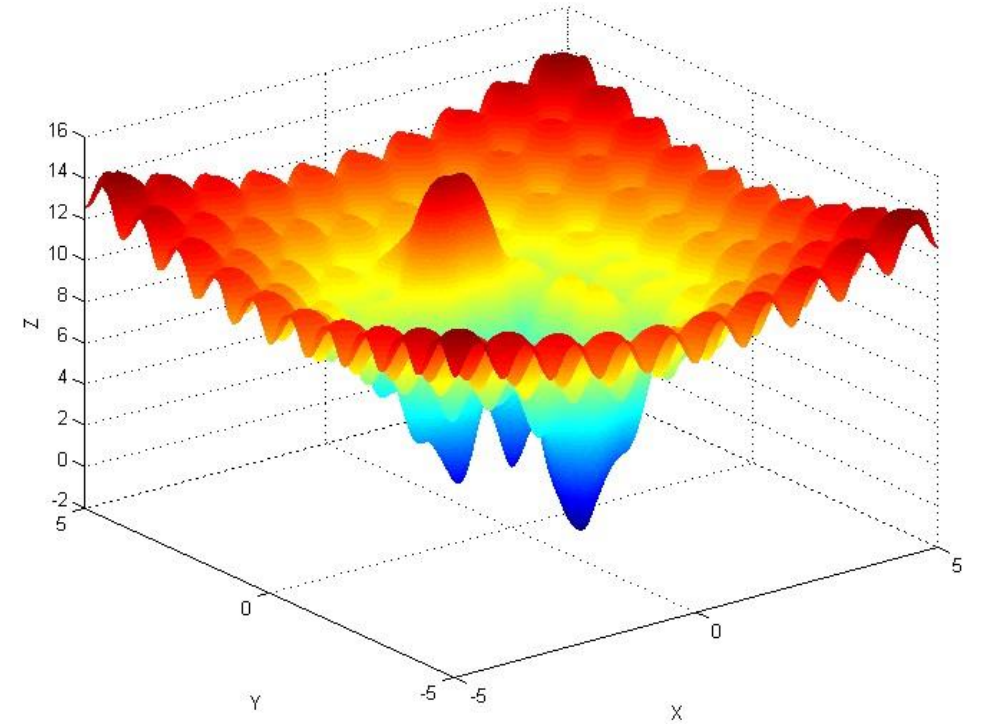
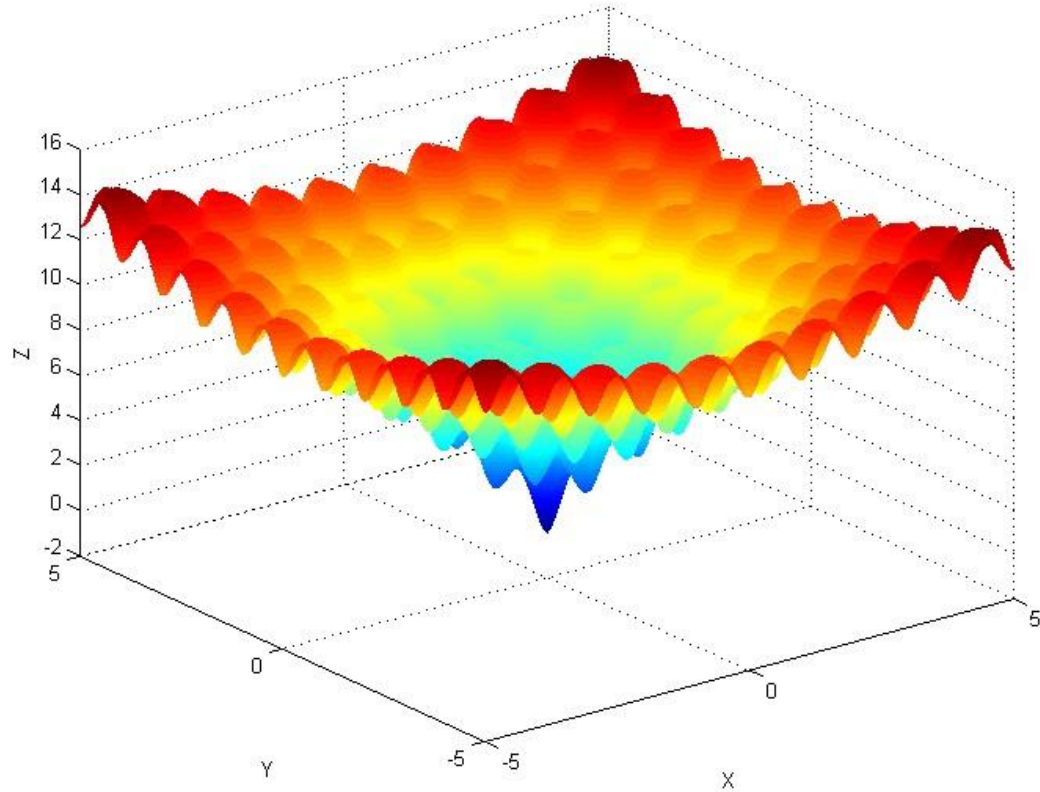
- 20 tuberías y 10 diámetros posibles
  - $10^{20}$  posibles soluciones



¡3 170 980 años !

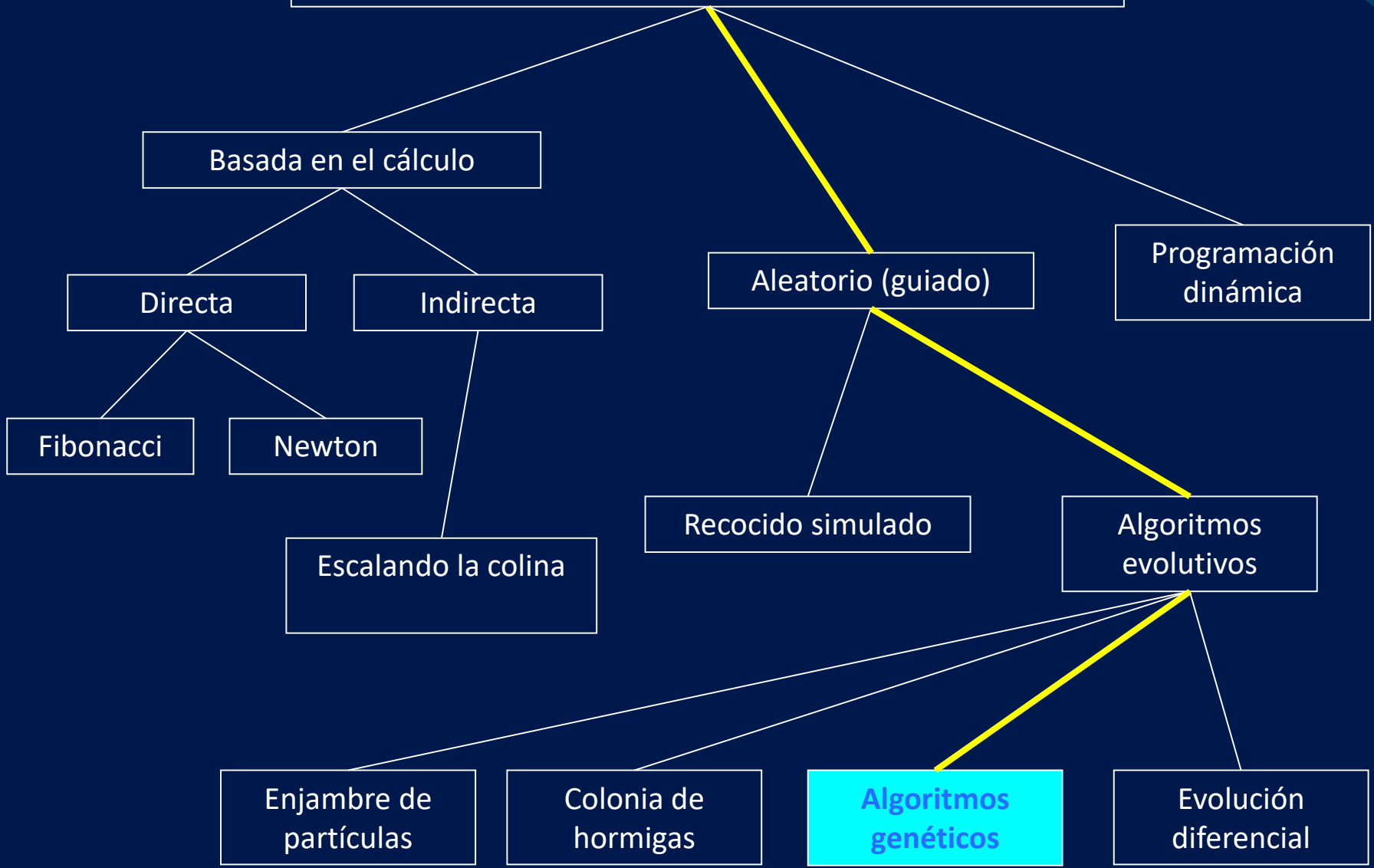


# Problema de optimización combinatoria

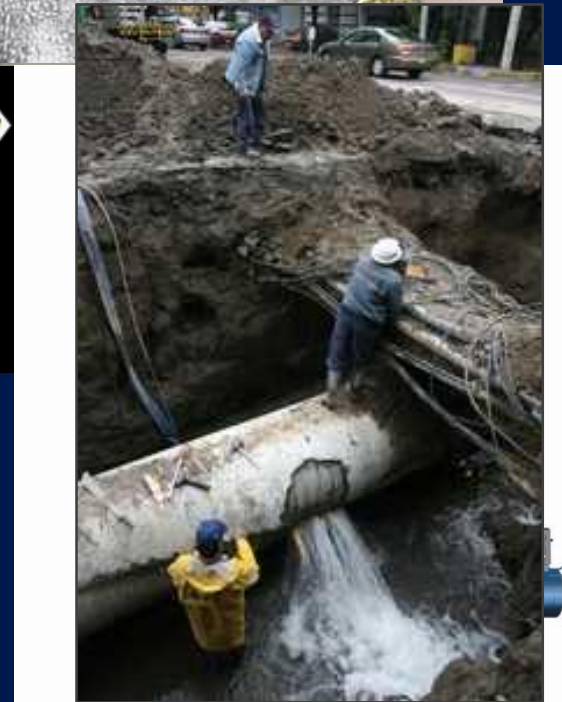
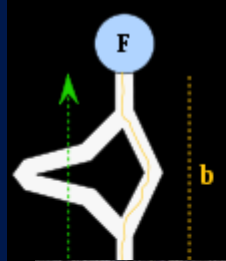
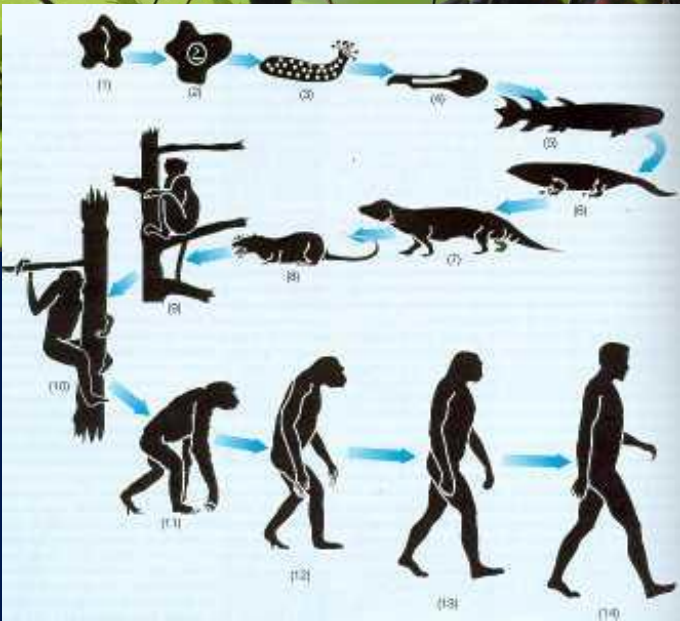




# Técnicas de búsqueda

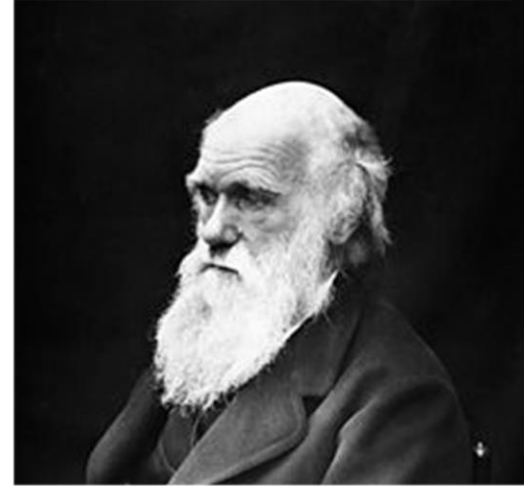
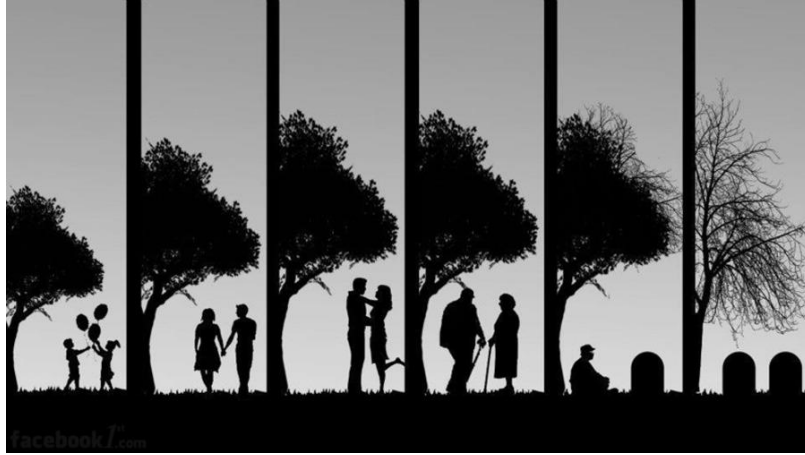


# ¿Naturaleza vs Ingeniería Hidráulica?

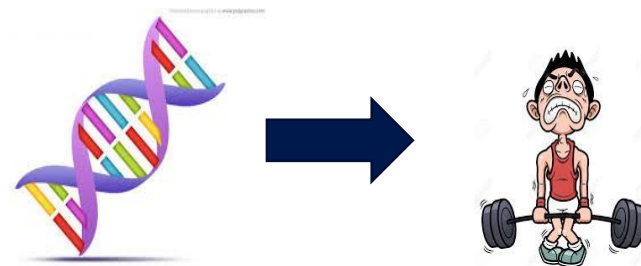
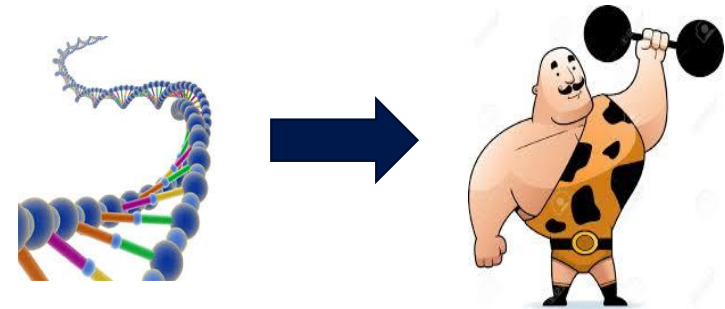




# Teoría de Evolución (Algoritmo Genético)

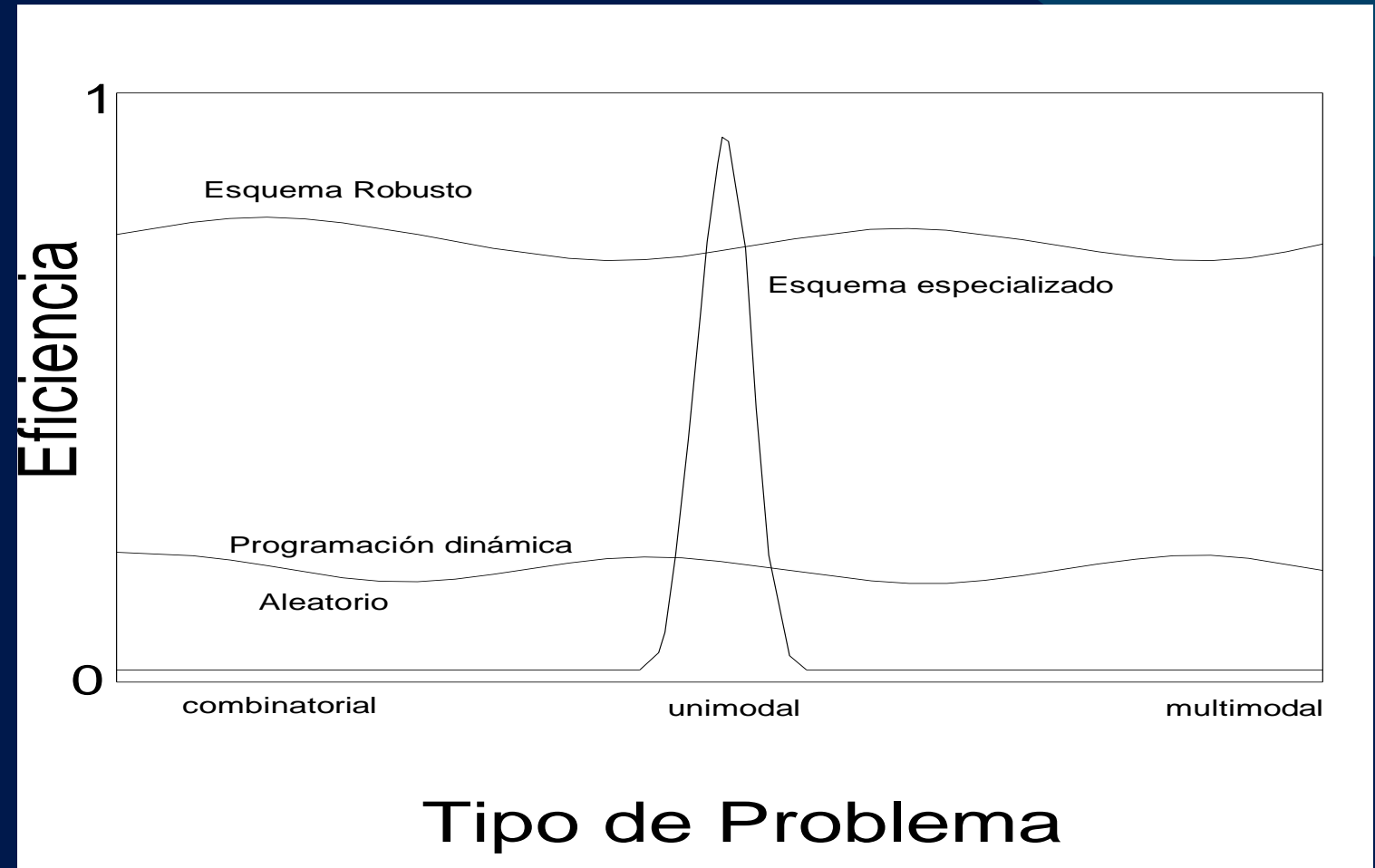


J. Holland (70's)  
Selección natural  
Supervivencia del más apto

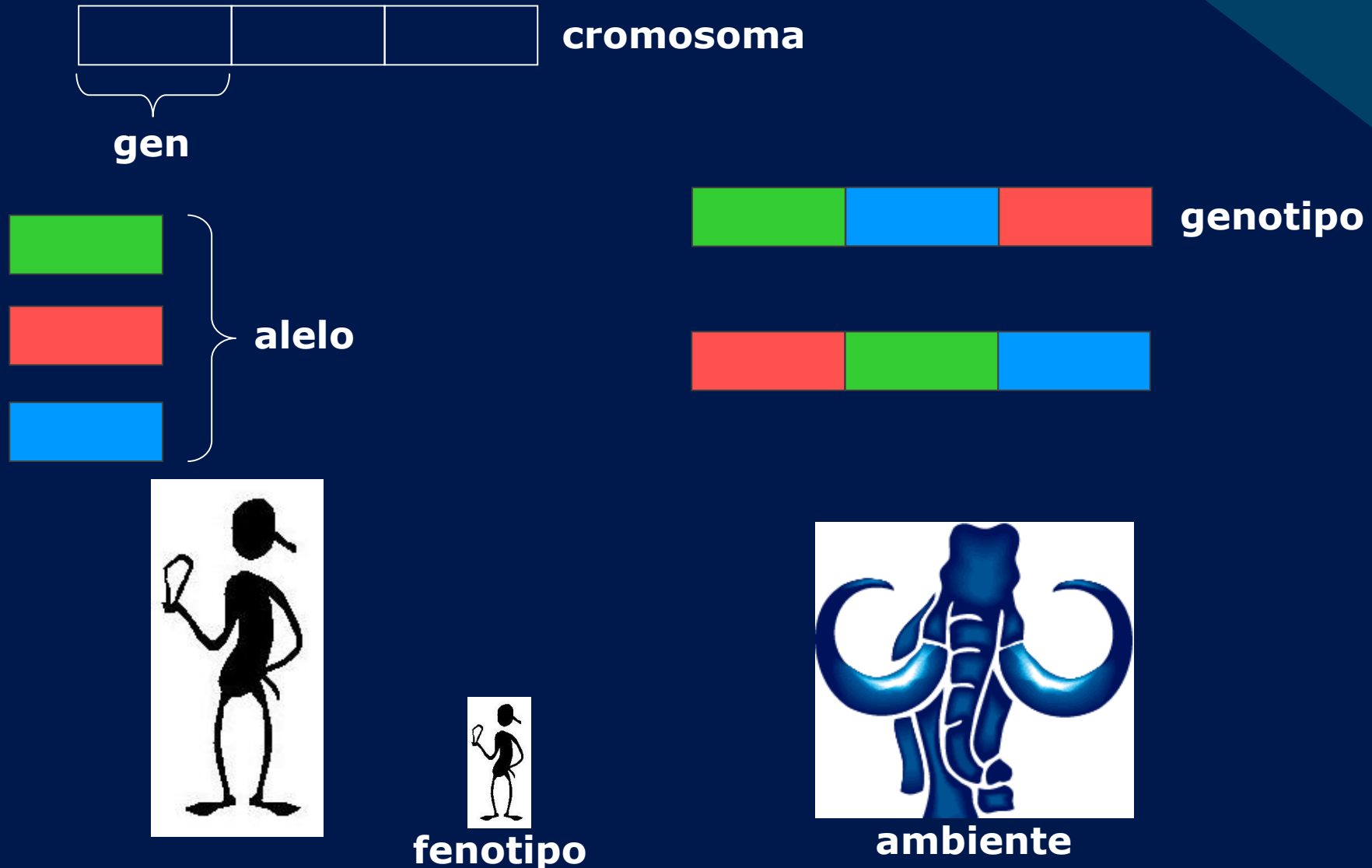


# Características de las heurísticas

- Exploración
- Explotación



# Algoritmo Genético Simple (AGS)

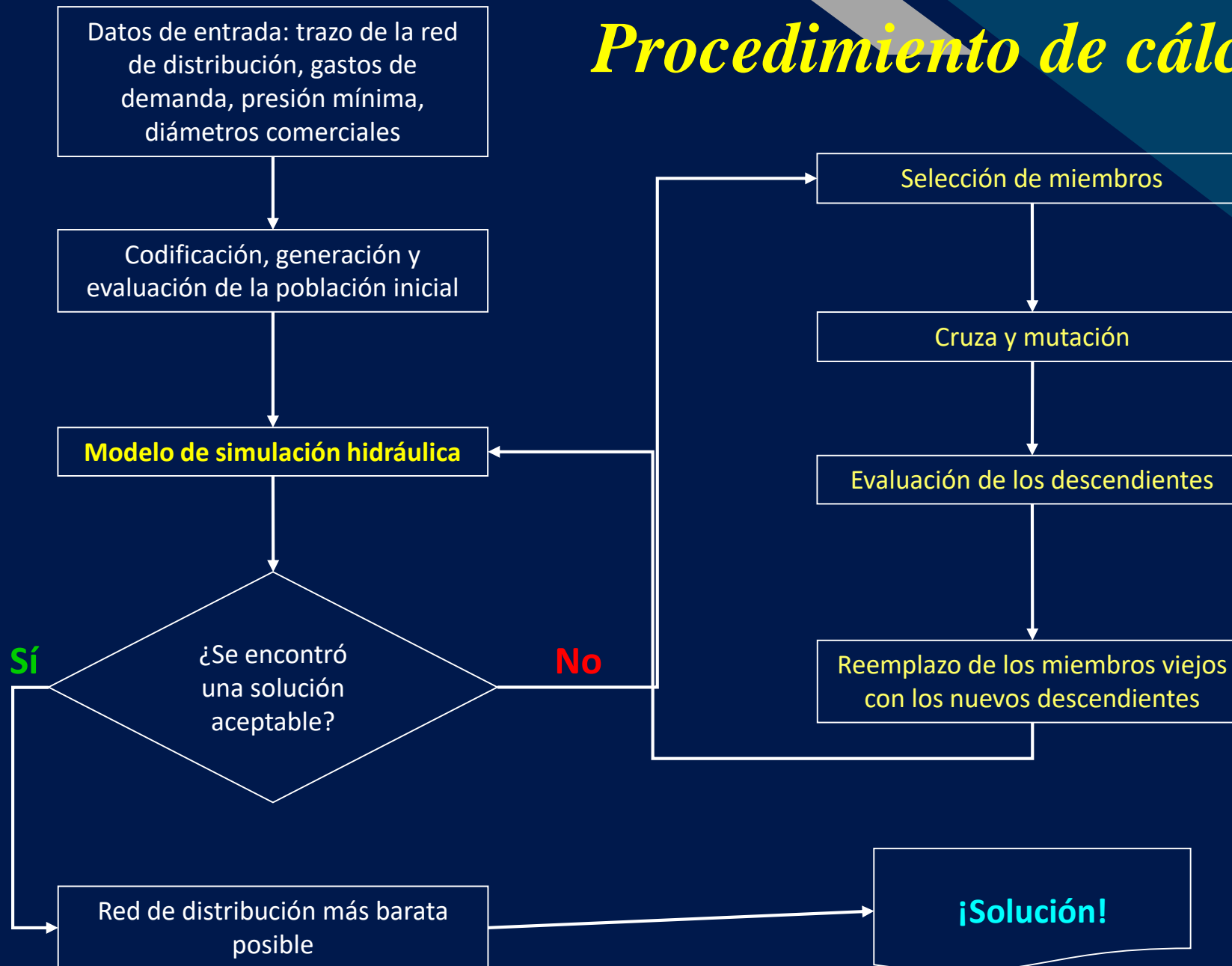




- 1) Codificación binaria**
- 2) Selección proporcional**
- 3) Cruza en un solo punto**
- 4) Muta en un solo gen**



# Procedimiento de cálculo





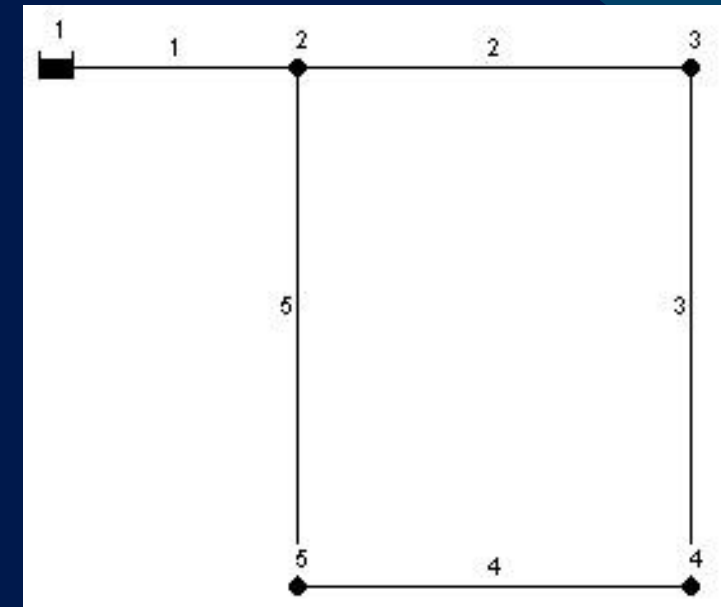
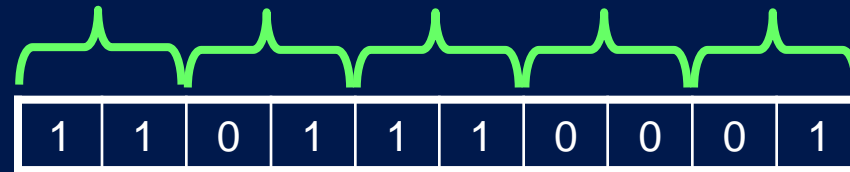
# *Codificación de parámetros*

Diámetro de la tubería	Codificación
6"	00
8"	01
10"	10
12"	11

Diámetro de la tubería	Codificación
8"	000
10"	001
12"	010
14"	011
16"	100
18"	101
16"	110
18"	111



# Generación de la población inicial





# Decodificación

1	1	0	1	1	1	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

12	8	12	6	8
----	---	----	---	---

0	1	1	1	0	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

8	12	8	12	6
---	----	---	----	---

0	0	0	1	1	1	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

6	8	12	8	8
---	---	----	---	---

1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

12	12	8	12	10
----	----	---	----	----

# Función objetivo

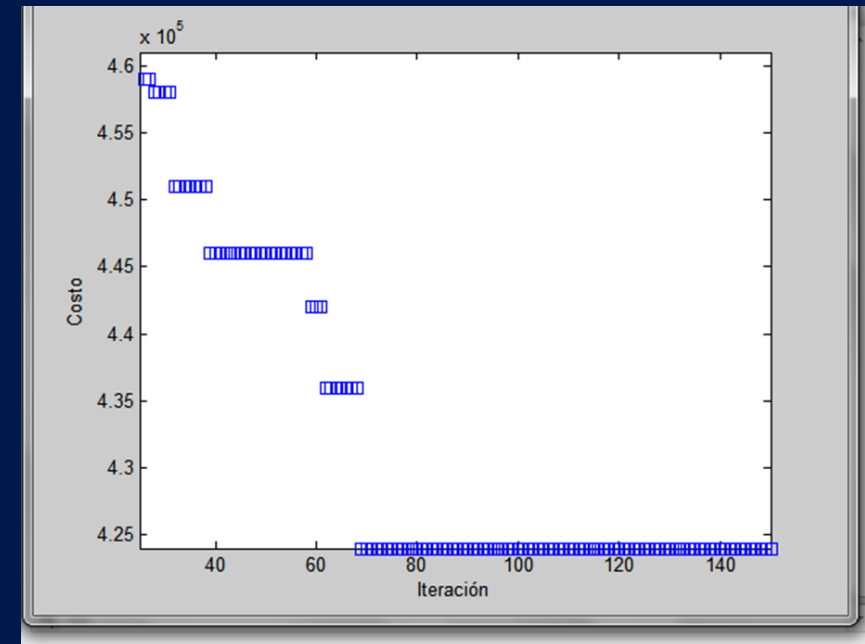
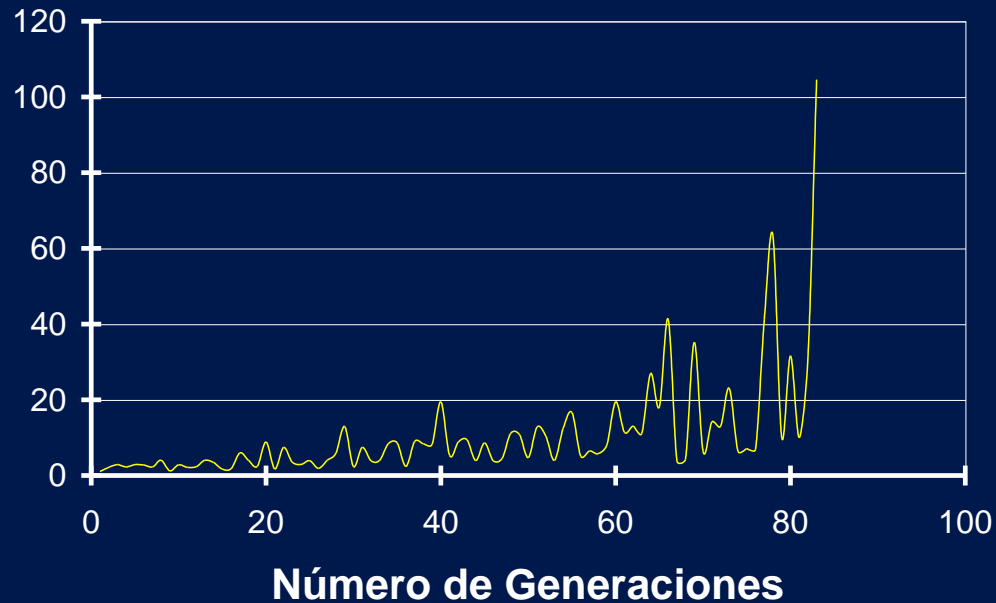
$$fa = \frac{1}{C_i + \Delta p C_p}$$

$C_i$ ,  $f(D,L)$  [\$]

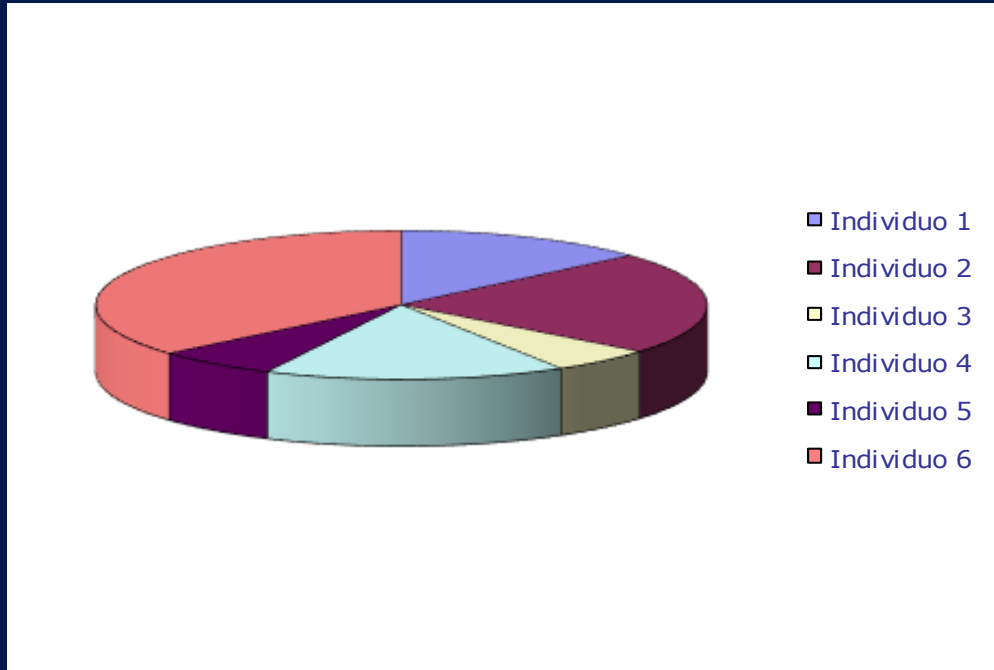
$C_p$ ,  $f(P_i)$  [\$/mca]

$$fa = \frac{1}{C_i + \Delta P C_p + \Delta V C_p}$$

Evolución del AGS



# Selección



Red	Aptitud	Suma
1	2.7	2.7
2	4.5	7.2
3	1.1	8.3
4	3.2	<b>11.5</b>
5	1.3	12.8
6	7.3	20.1
<b>Total</b>	<b>20.1</b>	



# Cruza

$P_c=0.7$

Punto de cruza



Padres

Hijos





# Mutación

$P_m=0.1$

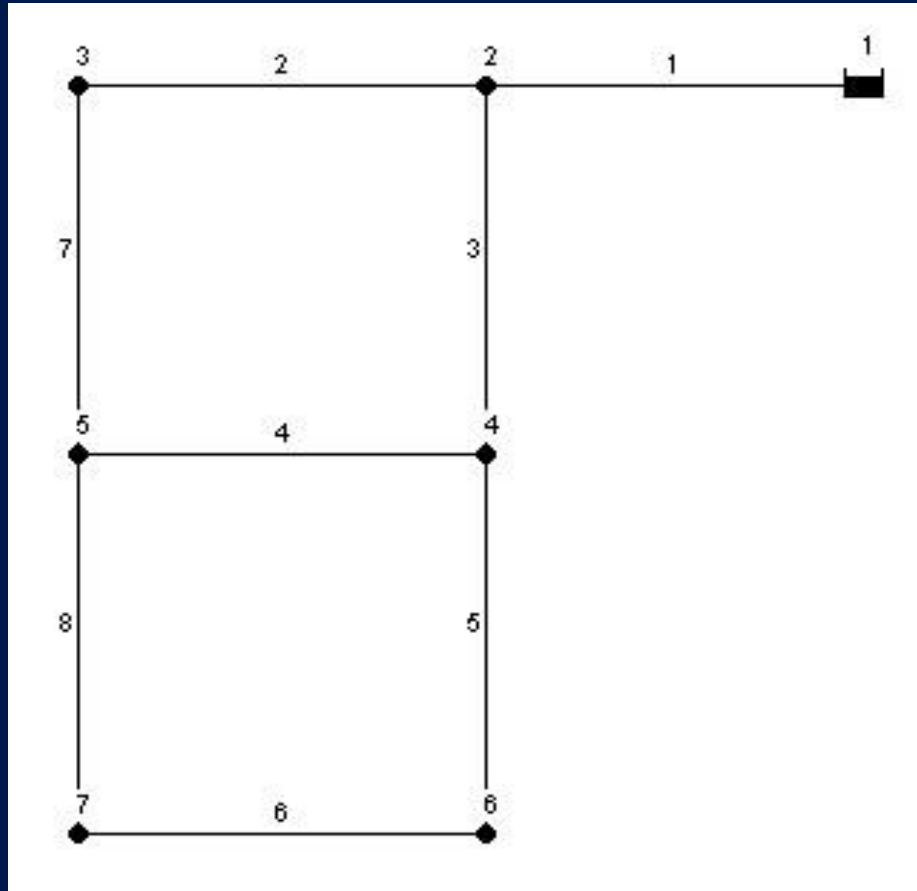
1	1	0	1	1	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1	1	0	1	1	1	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

0	1	1	1	0	1	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

0	1	1	1	0	1	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

# Ejemplos de aplicación



- 8 tuberías
- 14 posibles diámetros
- $1.47 \times 10^9$  posibles soluciones
- Presión mínima 30 m

# Ejemplos de aplicación

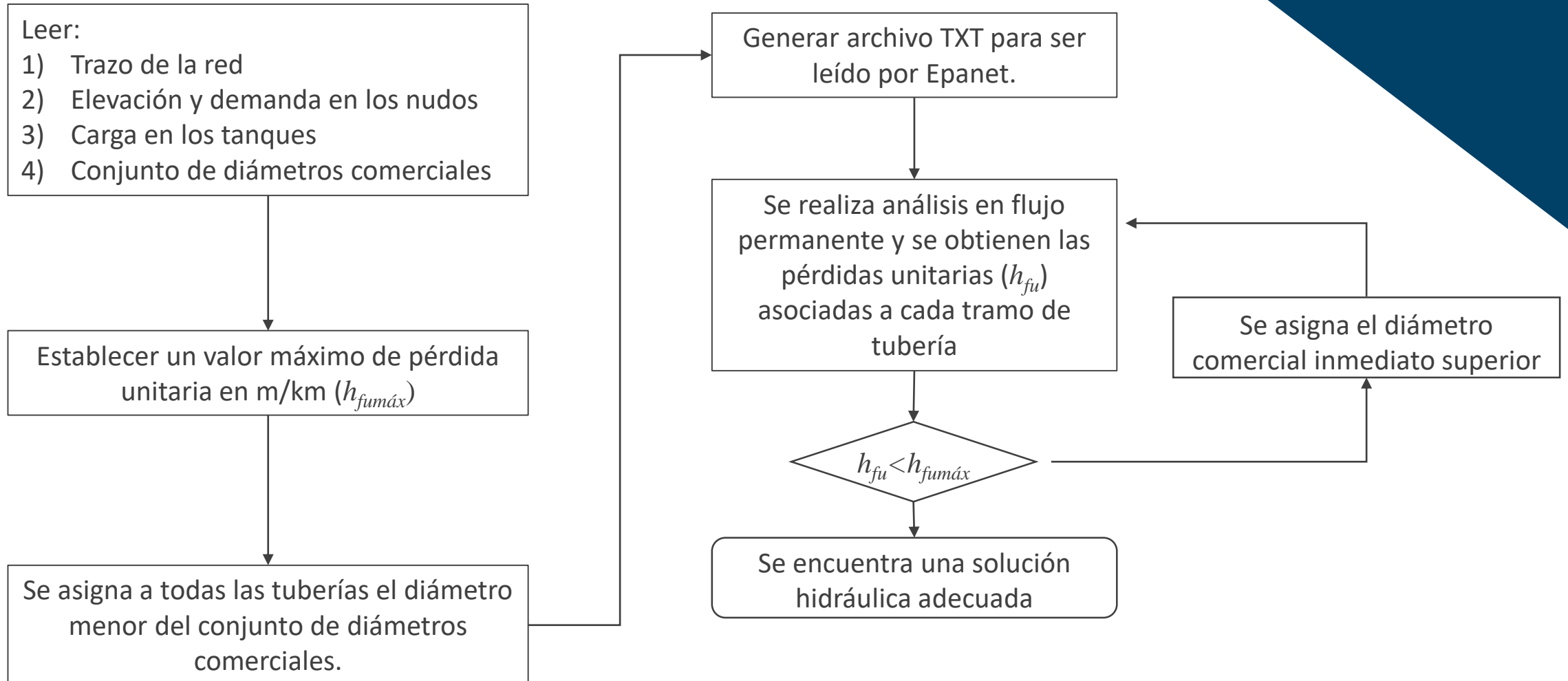


Tubo/Nodo	D (in)	P (m)	V (m/s)
1	18		1.9
2	10	53.55	1.51
3	16	35.04	1.59
4	6	43.24	1.43
5	16	33.92	1.14
6	10	30.49	1.1
7	8	30.89	1.51
8	1		0.33
<b>Costo UM</b>		<b>415000</b>	

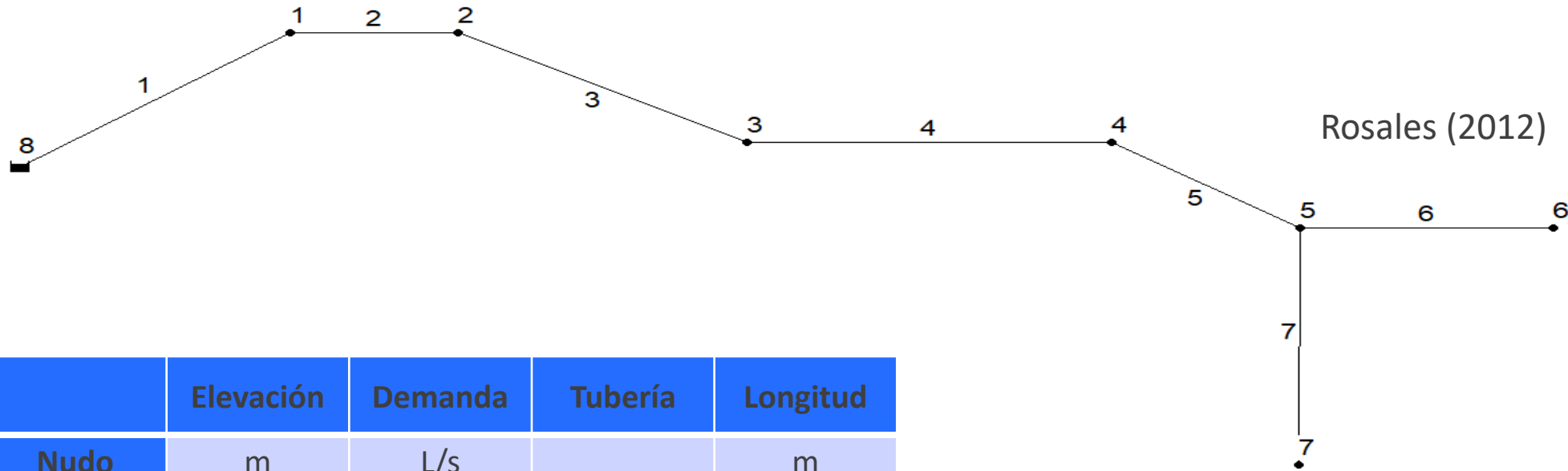
Tubo/Nodo	D (in)	P (m)	V (m/s)
1	18		1.8951
2	14	53.55	1.4892
3	14	39.26	1.3637
4	6	42.72	0.6015
5	14	43.34	0.979
6	6	29.88	0.6861
7	12	30.7	1.2095
8	10		0.9867
<b>Costo UM</b>		<b>424000</b>	



# Método basado en pérdidas unitarias



# Método basado en pérdidas unitarias



	Elevación	Demanda	Tubería	Longitud
Nudo	m	L/s		m
1	912.67	0	1	43.9
2	911.08	0.389	2	10.9
3	908.17	0.402	3	57.7
4	901.91	1.085	4	155.8
5	899.45	0.438	5	62.9
6	893.27	0.348	6	50
7	901.58	2.44	7	85
$H_T$ (m)	923.45			

# Método basado en pérdidas unitarias

Pérdida unitaria máxima: 40 m/km

Tubería	D (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	$h_{fu}$ (m/km)	Nudo	Carga P (m)	Carga piezométrica (m)
1	76.2	5.1	1.12	16.77	1	10.04	922.71
2	76.2	5.1	1.12	16.77	2	11.45	922.53
3	63.5	4.71	1.49	35.51	3	12.31	920.48
4	63.5	4.31	1.36	30.11	4	13.88	915.79
5	63.5	3.23	1.02	17.67	5	15.23	914.68
6	50.8	0.35	0.17	0.98	6	21.36	914.63
7	50.8	2.44	1.2	31.63	7	10.41	911.99

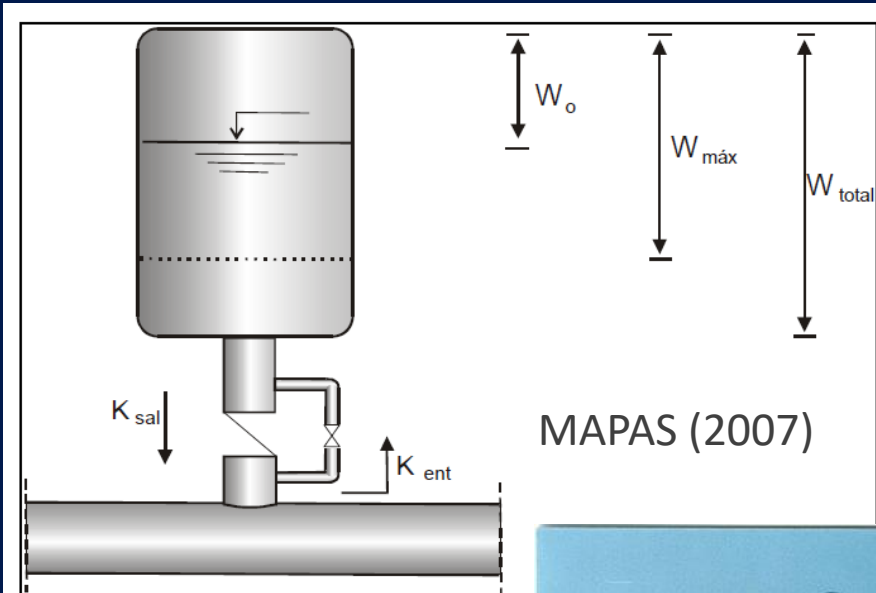
Créditos: Martha Bautista

# *Método basado en pérdidas unitarias*

	Rosales (2012)		Algoritmo Genético		Método propuesto	
Tubería/Nodo	D (mm)	Carga P (mca)	D (mm)	Carga P (mca)	D (mm)	Carga P (mca)
<b>1</b>	76.2	10.04	76.2	10.04	76.2	10.04
<b>2</b>	63.5	11.19	63.5	11.19	76.2	11.45
<b>3</b>	63.5	12.05	63.5	12.05	63.5	12.31
<b>4</b>	63.5	13.62	63.5	13.62	63.5	13.88
<b>5</b>	63.5	14.96	63.5	14.96	63.5	15.23
<b>6</b>	50.8	21.09	50.8	21.09	50.8	21.36
<b>7</b>	50.8	10.15	50.8	10.15	50.8	10.41

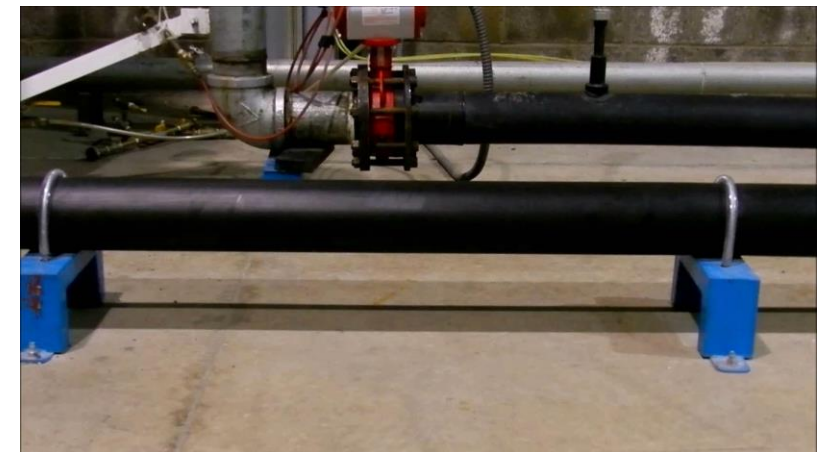
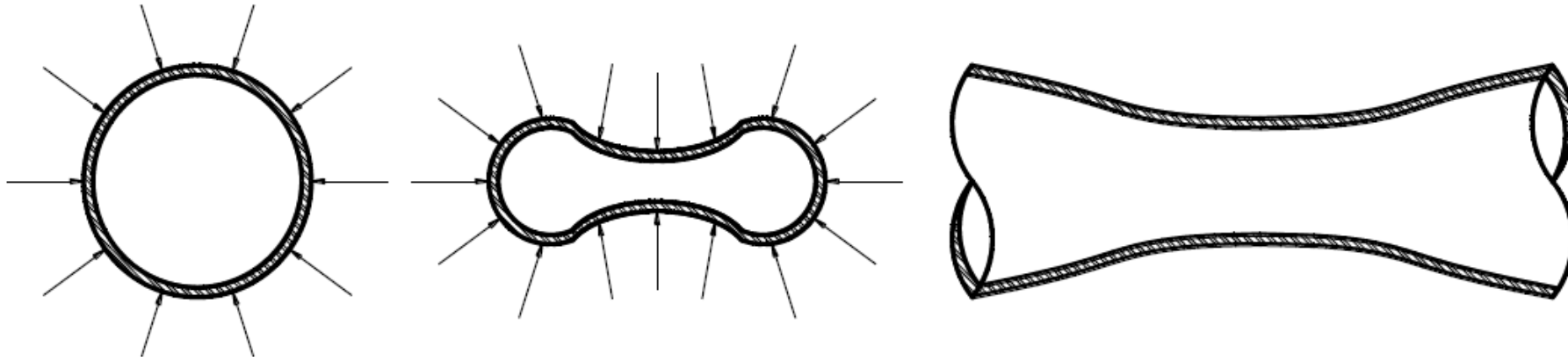
Créditos: Martha Bautista

# Diseño óptimo de cámaras de aire





# Colapso de tubería por depresión



Créditos: E. Rodal.

# Algoritmo genético y TRANS



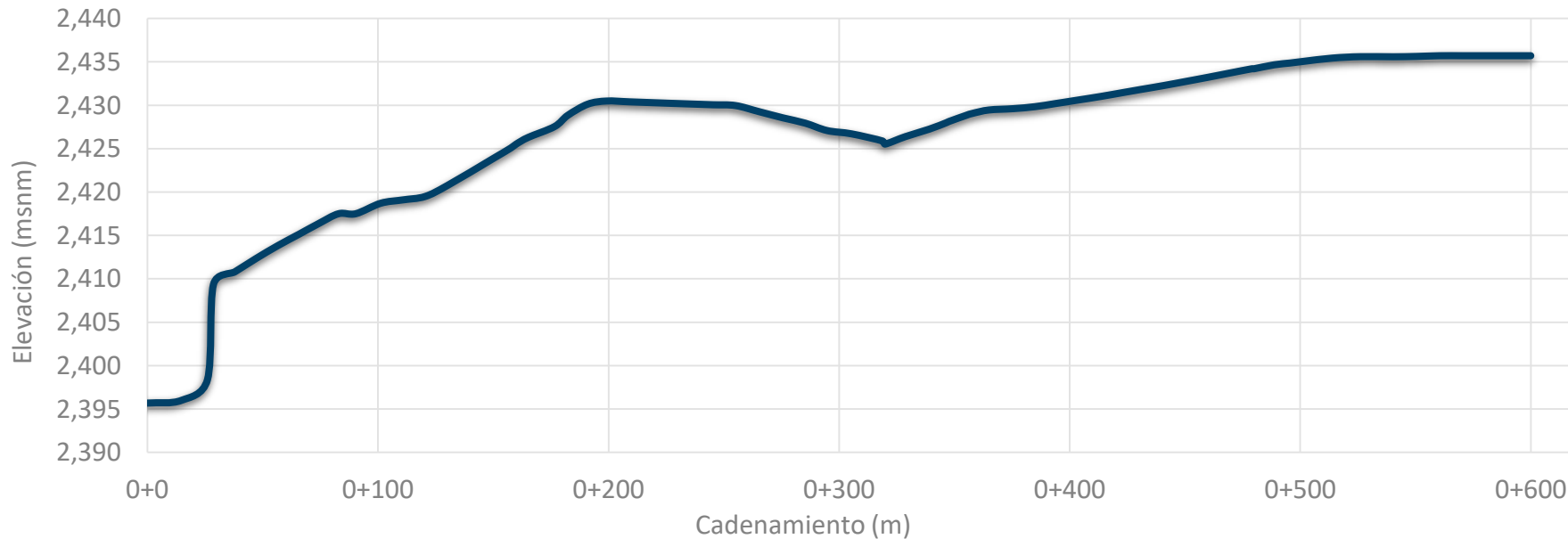
- 3 Bombas centrifugas de 15 HP c/u
- $Q = 39 \text{ l/s}$
- Desnivel topográfico 40.05m
- 30 m tubería acero ; 570 PAD
- $\Phi 6 \text{ in}$
- $20^\circ\text{C}$

Acero:

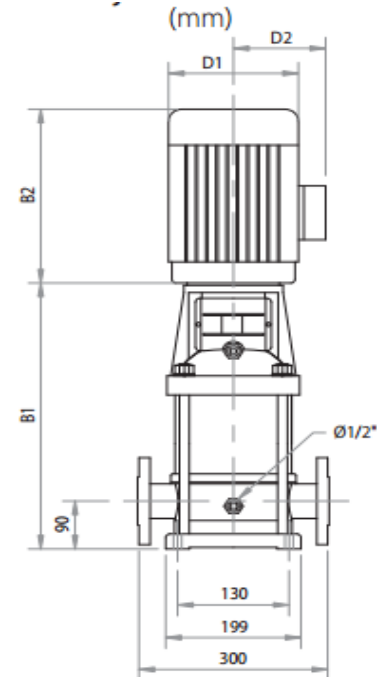
Longitud	30 m
Diámetro nominal	6"
Diámetro exterior	168.3 mm
Espesor de la pared	6.35 mm
Cédula	40 STD
Rugosidad absoluta ( $\epsilon$ )	0.05 mm
Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )	0.27

Polietileno VALTIC Premium PE 4608

Longitud	570 m
Diámetro nominal	6"
Diámetro exterior	168.3 mm
Espesor de la pared	6.5 mm
RD	26
Rugosidad absoluta ( $\epsilon$ )	0.0015 mm
Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )	0.46
Presión de trabajo	4 kg/cm <sup>2</sup>



Tipo  
multietapa  
vertical marca  
Barmesa  
Modelo  
BMV32-42-  
1503 de 4  
pasos



Créditos: Paulina Espinosa



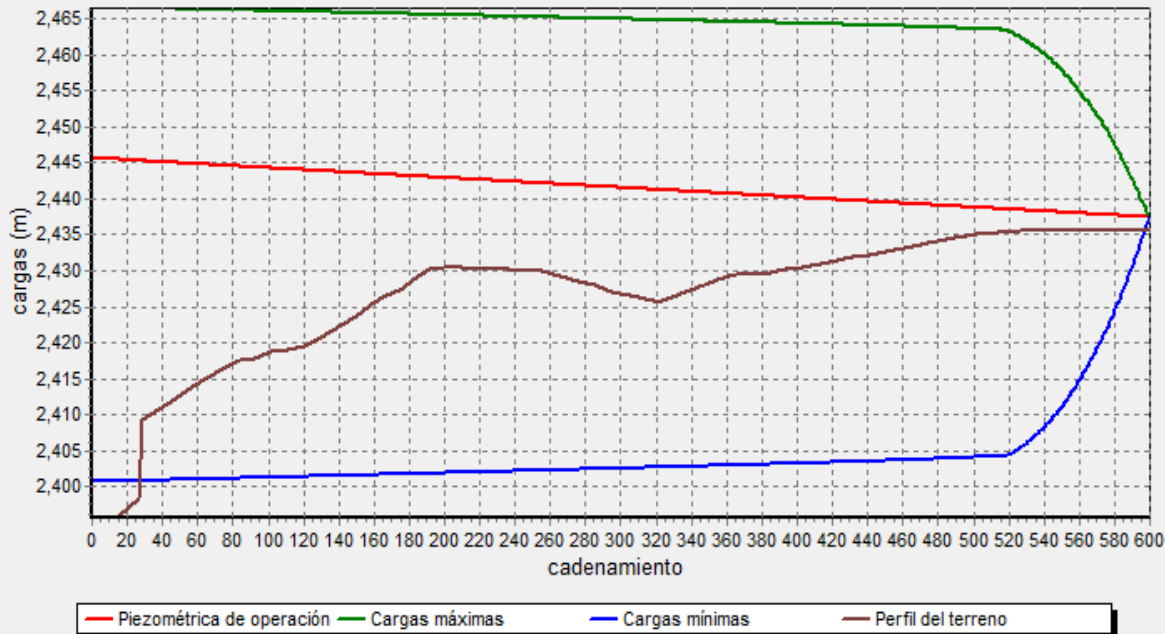
# COMPARACIÓN

SIN CÁMARA DE AIRE

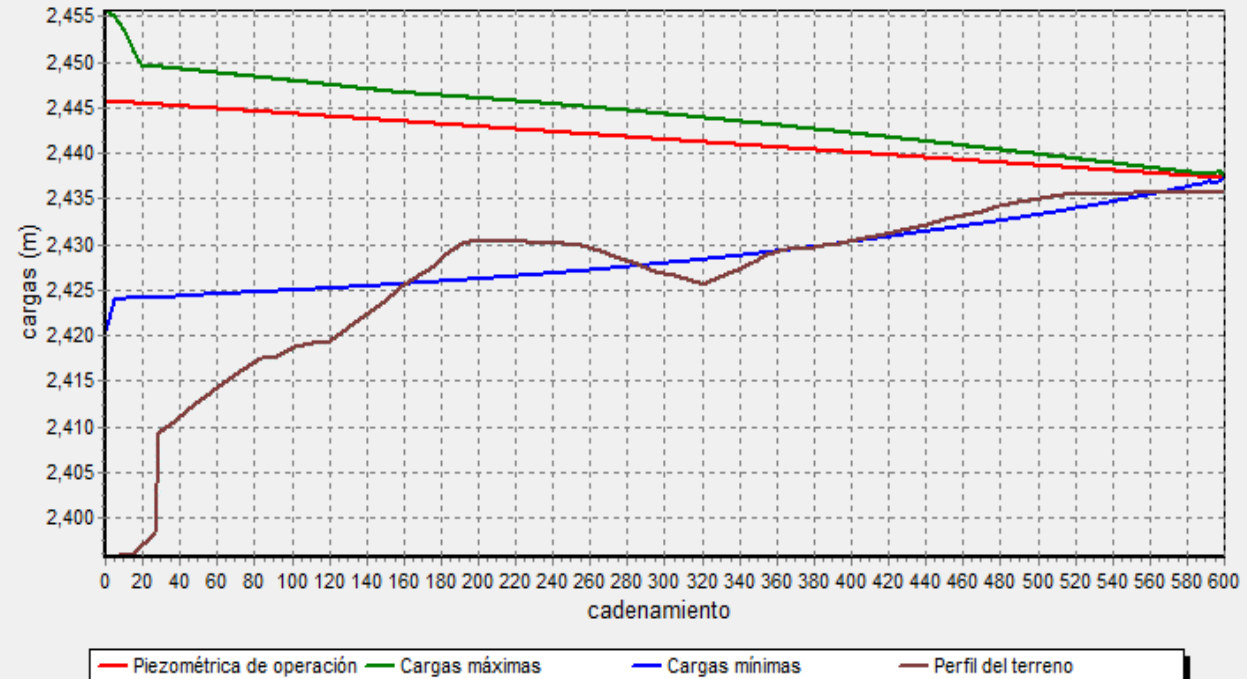
VS

CON CÁMARA DE AIRE

PIEZOMÉTRICAS

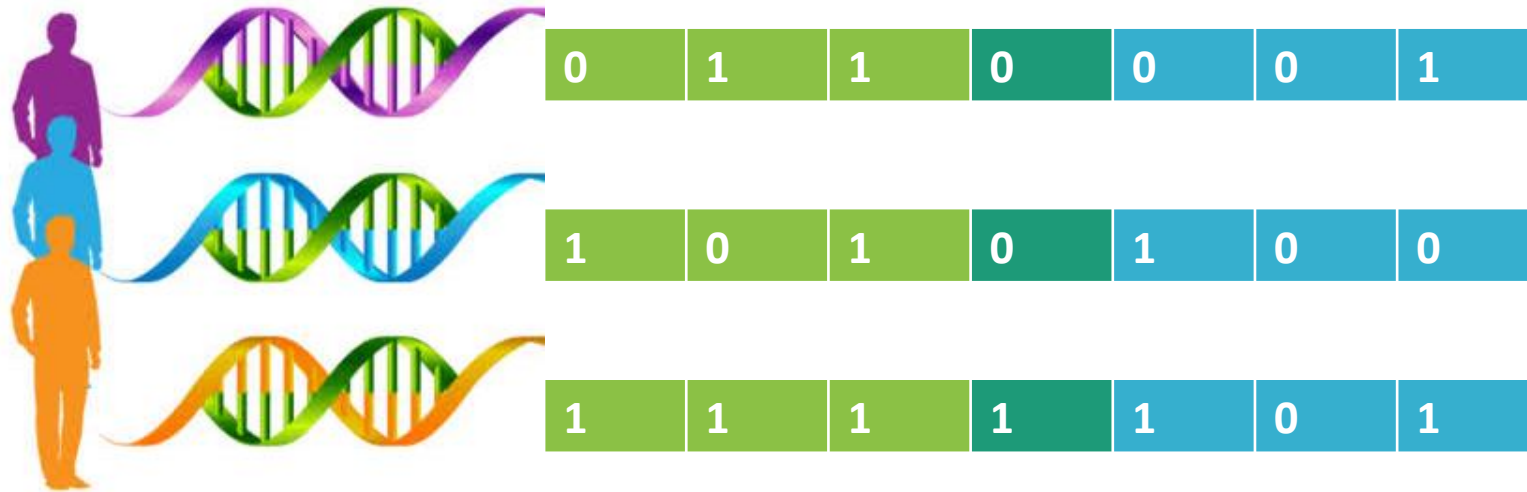


PIEZOMÉTRICAS



# APLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO.

## GENERACIÓN DE POBLACIÓN INICIAL (POSIBLES SOLUCIONES).



1



2



3



Código binario	Volumen total CA
000	0.5
001	1
010	1.5
011	2
100	2.5
101	3
110	3.5
111	4

Código binario	% ini Vol Aire
0	0.33
1	0.5

3 bits	
Código binario	Altura CA
000	1
001	1.5
010	2
011	2.5
100	3
101	3.5
110	4
111	4.5





# Función de aptitud

$$f_a = \frac{1}{C_u + \Delta p_{m\acute{a}x} * K_p + \Delta p_{m\acute{i}n} * K_p}$$

Donde:

$C_u$  – Costo unitario de construcción e instalación de la cámara de aire de un cierto volumen total (MXN).

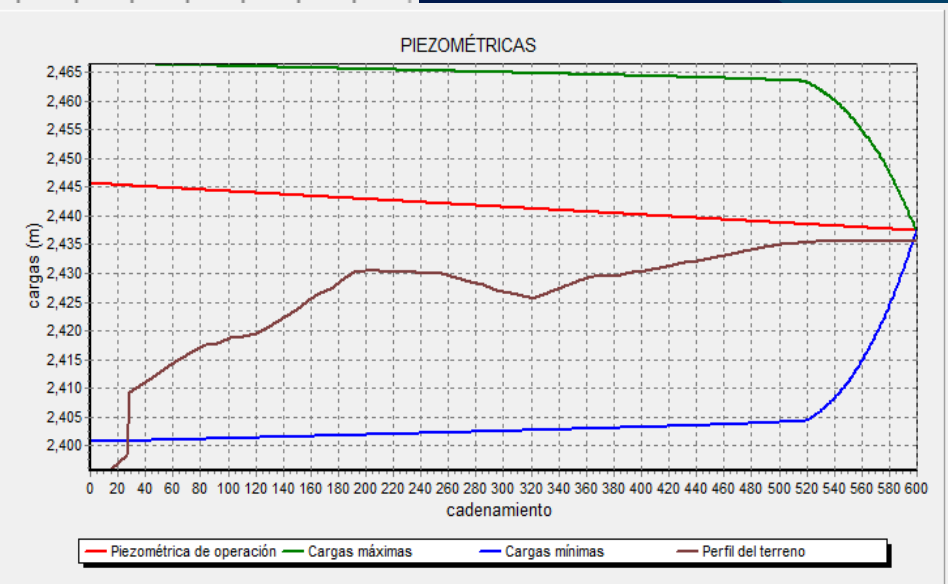
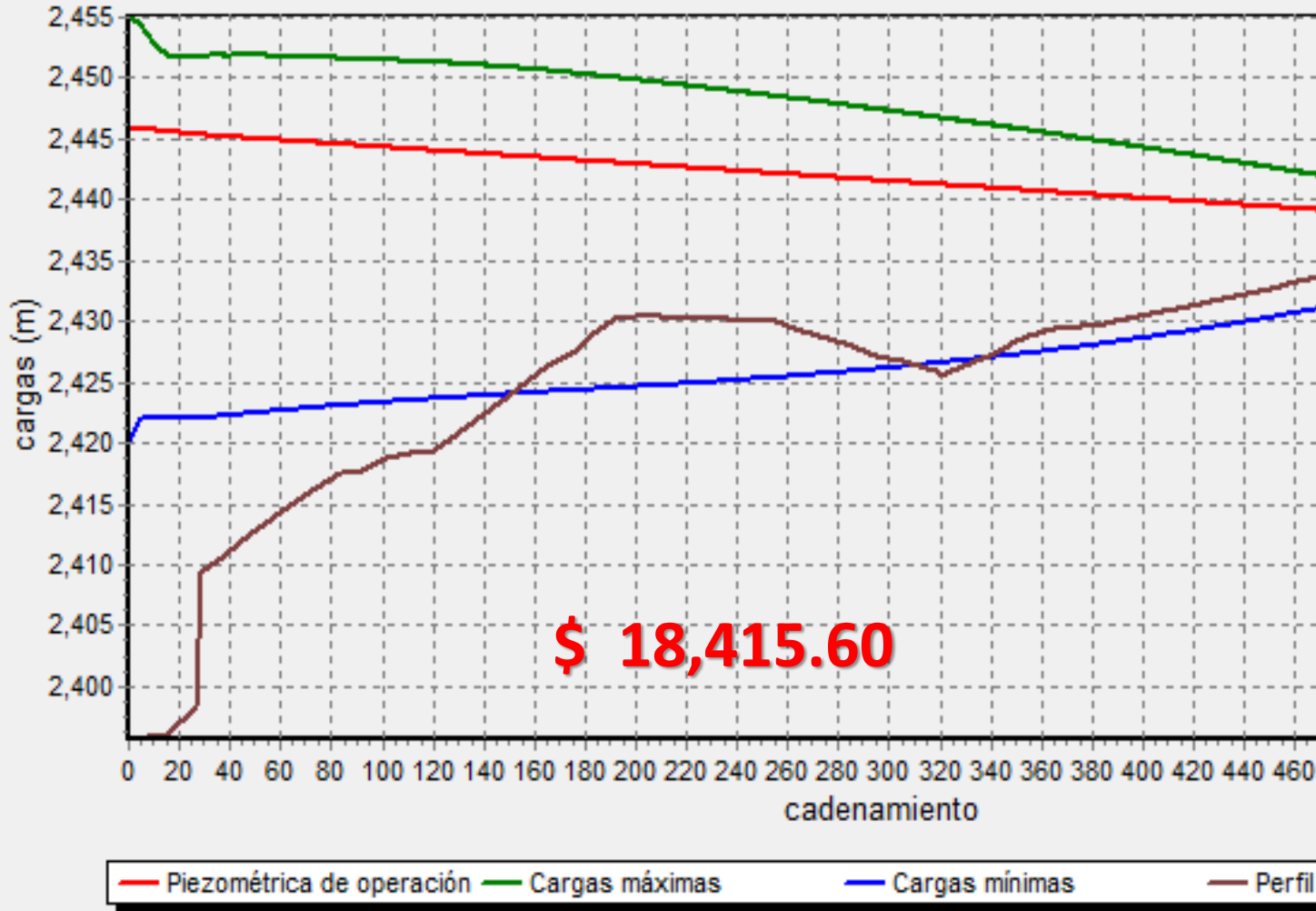
$\Delta p_{max}$  – Sobrepresión máxima

$\Delta p_{min}$  – Sobrepresión mínima

$K_p$  – Factor de penalización



### PIEZOMÉTRICAS



Versión	Altura (m)	Diám (m)	Vol. Total (m³)	Vol ini aire (m³)	Costo (MXN)	Sobre-presión MAX (m.c.a.)	Depresión MAX (m.c.a.)
2F	3	0.65	1	0.5	\$ 18,415.60	0.584	4.334

Créditos: Paulina Espinosa



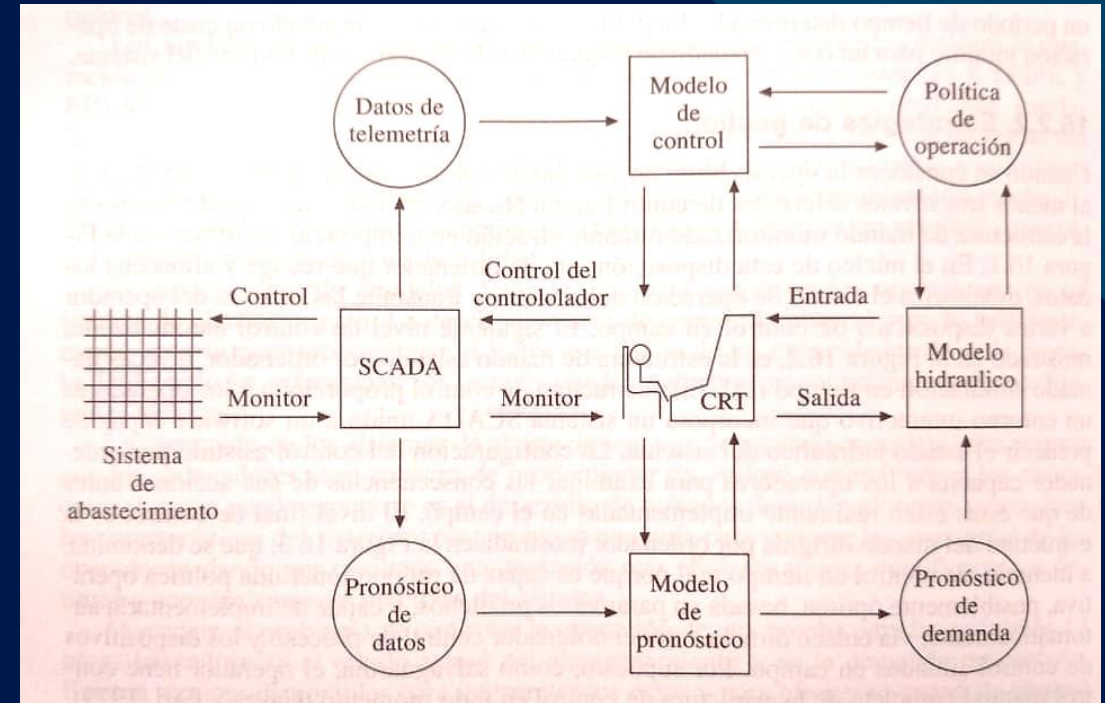
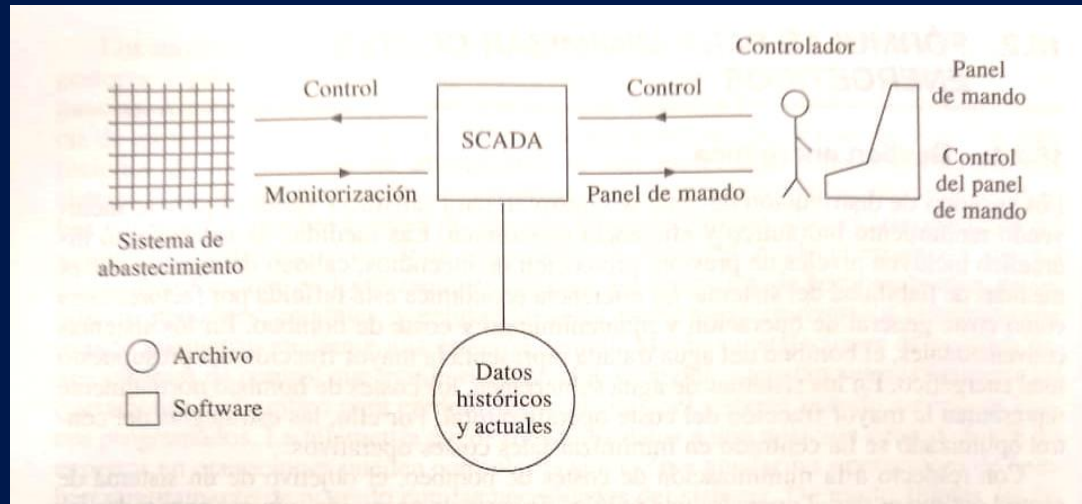
# LOS RETOS



# DISEÑO

1. Aterrizar las metodologías
2. ¿Por qué no se usan?
3. Son técnicas muy robustas
4. Desarrollo de software libre

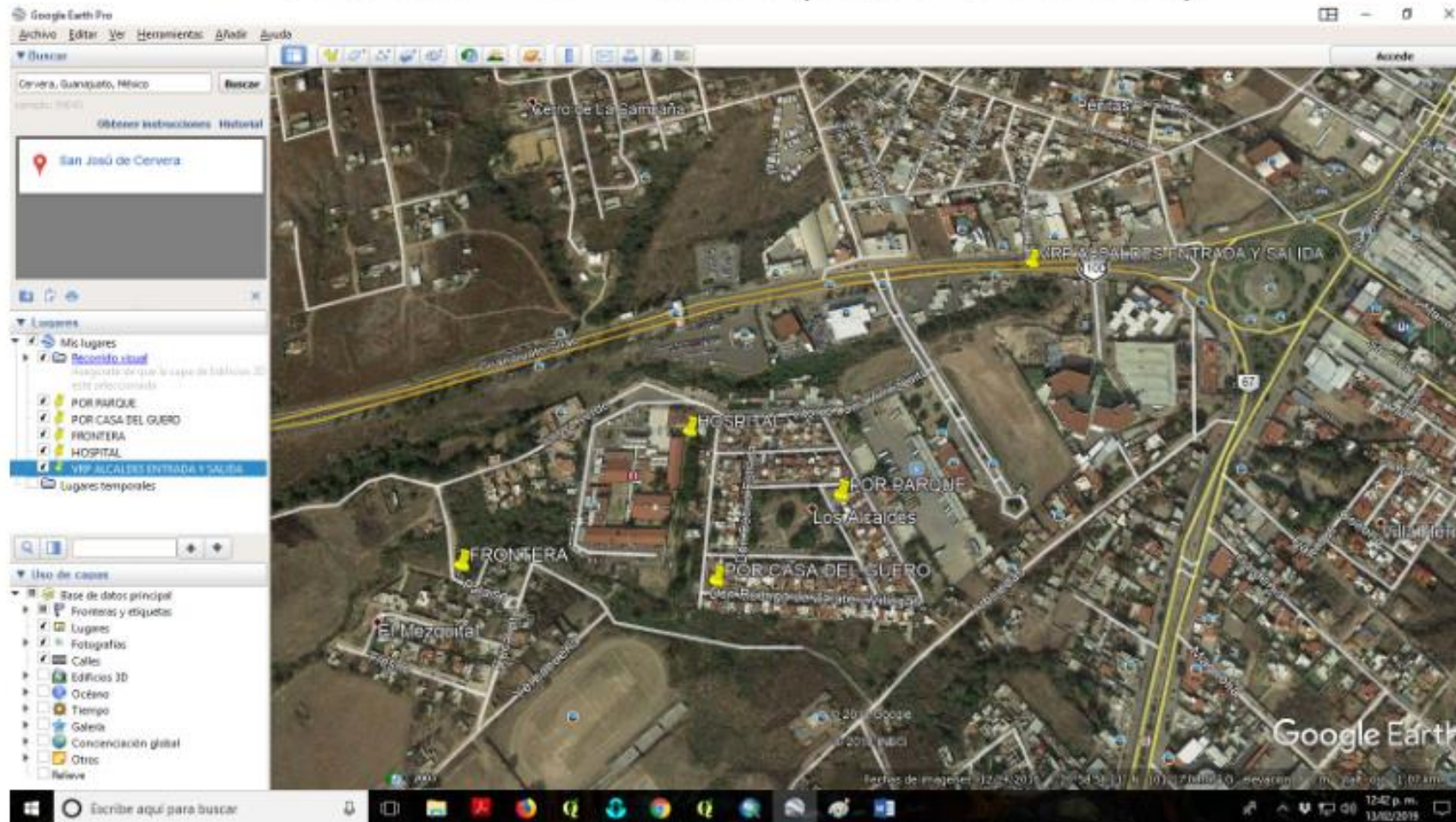
# Redes existentes

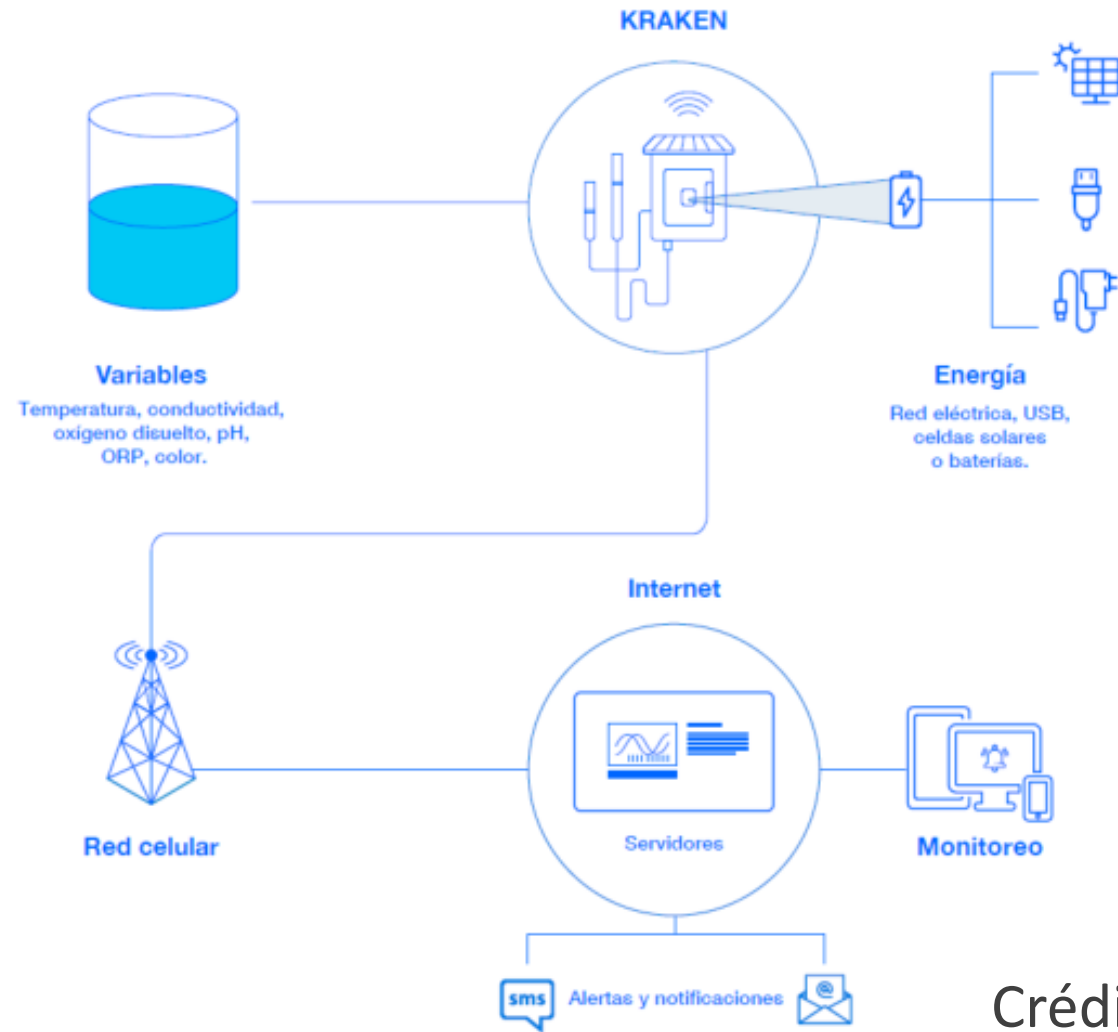




Instalación de estaciones IoT para el monitoreo y diagnóstico de la red de agua de la ciudad de Guanajuato (Responsable del proyecto: Dra. Lizeth Torres)

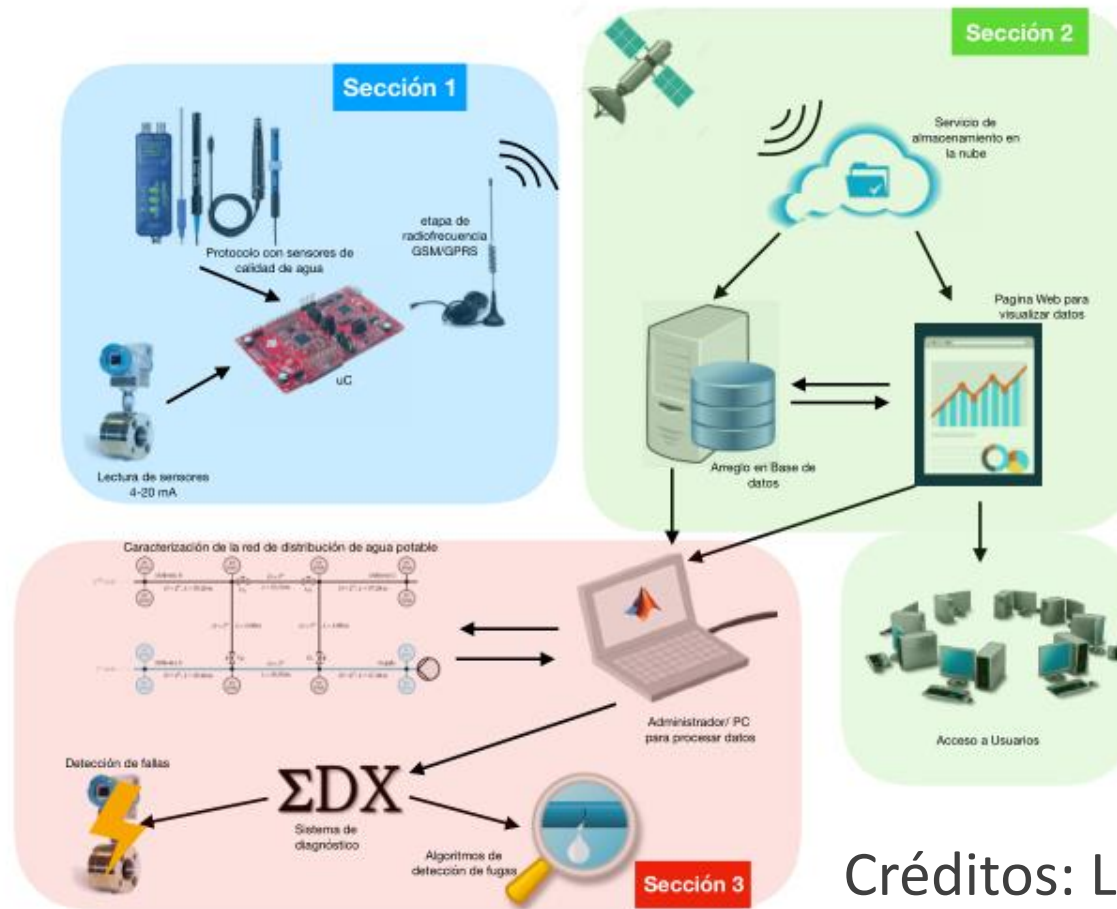
## Subsector Los Alcaldes (Sector 3 estrellas)





Créditos: Lizeth Torres.

# Adquisición, transmisión y almacenamiento de datos



Créditos: Lizeth Torres.











Estacion del Charro 1

2020/07/06 03:31:09 

a

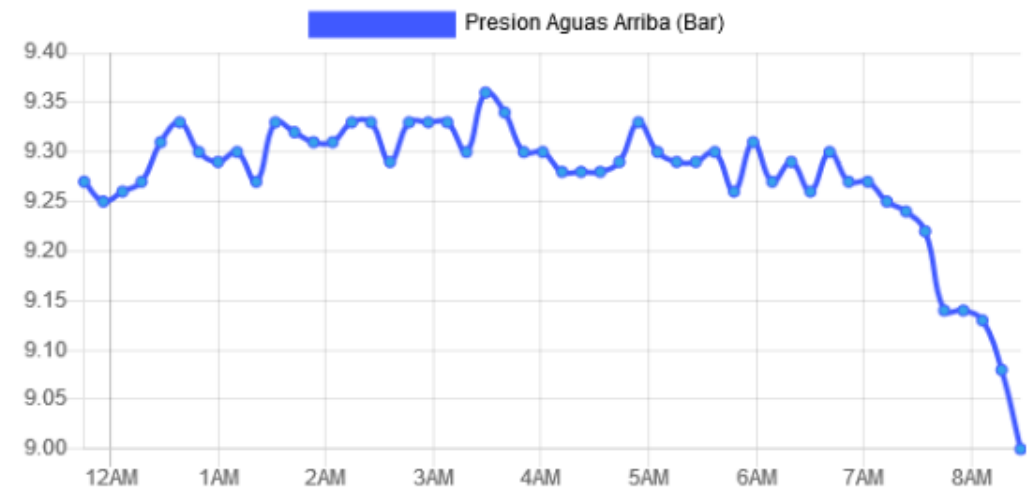
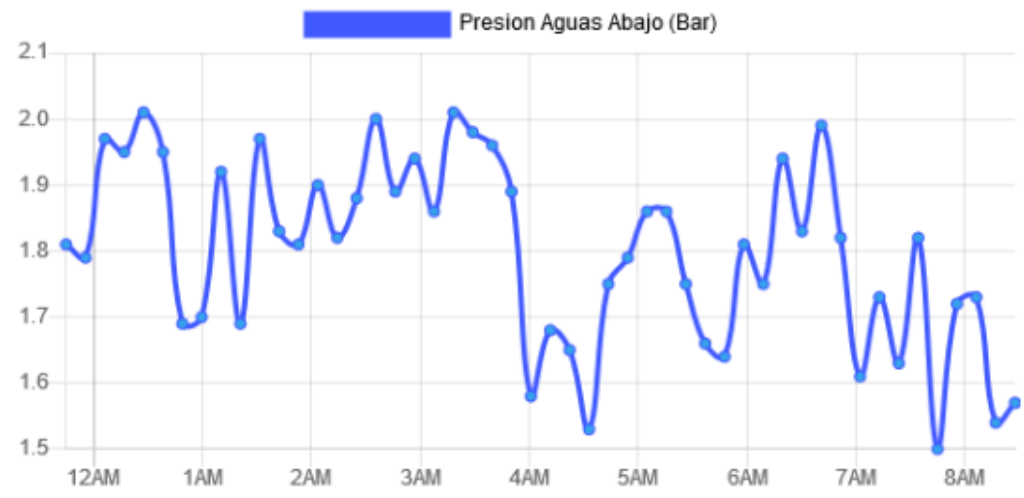
2020/07/06 08:31:09 

Aplicar

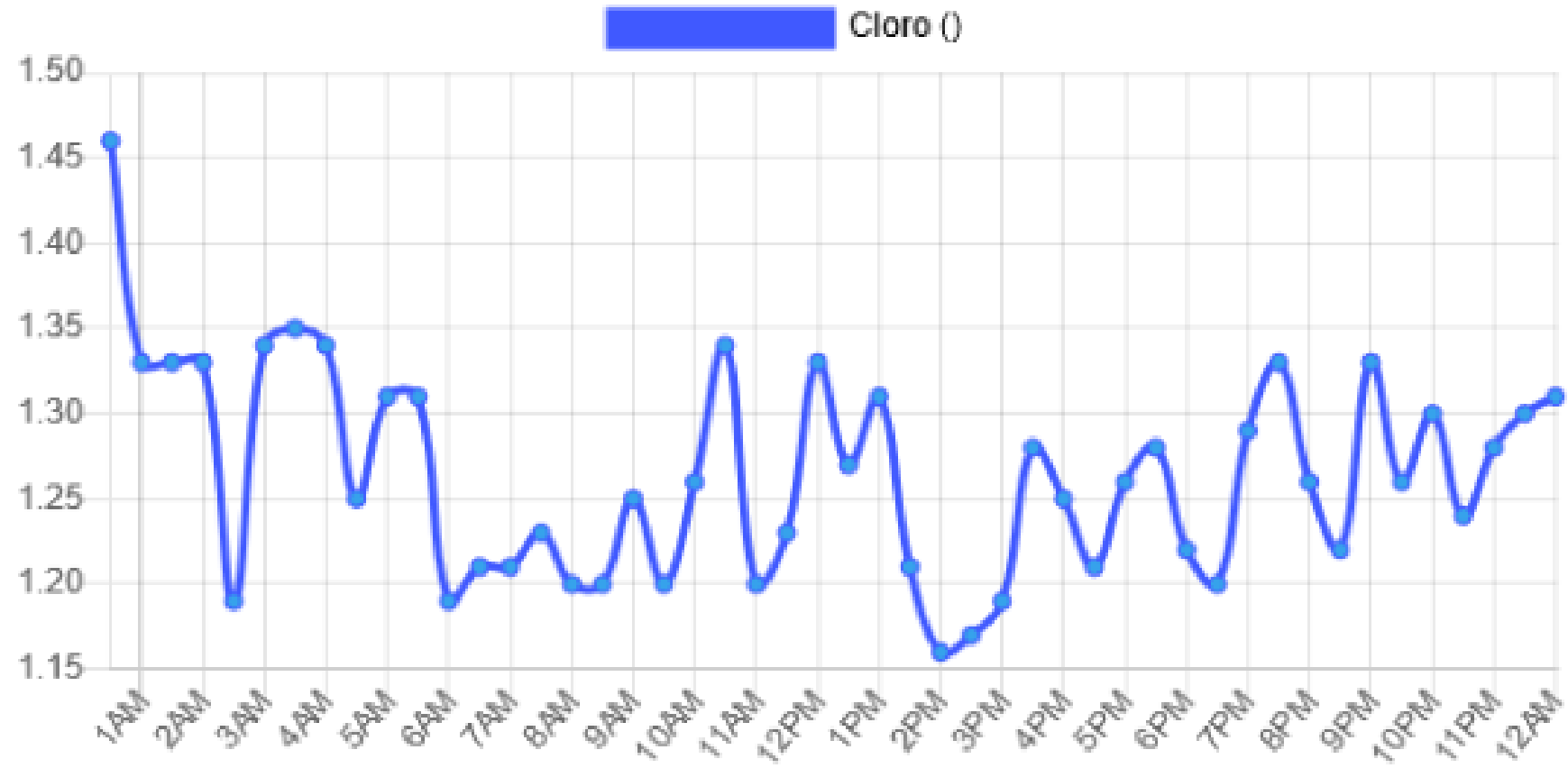
### Gráficas



### Parámetros Cuantitativos









# Reflexión final

¿Qué sigue, qué estamos haciendo?



# Agradecimientos

M. en I. Javier Carrillo  
Dr. Oscar Fuentes  
M. en I. Víctor Franco  
Dr. Moisés Berezowsky  
Dra. Ismene Rosales  
Dr. Faustino de Luna  
Dra. Katya Rodríguez  
Dra. Cristina Verde  
Dra. Lizeth Torres

Ing. Renato Díaz y cía.  
Dr. Nicolas Romero  
Mtro. Juan Aguilar  
Ing. Juan Ortiz

SIMAPAG  
SAPAL

Ing. Mijaíl Araiza  
Ing. Joel López  
Ing. Paulina Espinosa  
Ing. Michel Cueva  
Mtra. Martha Bautista



<https://www.epa.gov/water-research/epanet>

<https://www.mathworks.com/products/get-matlab.html>



# Muchas gracias.

**Martín Rubén Jiménez Magaña**

**Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM**

**mr.jimenez@comunidad.unam.mx**



## Para citar esta presentación:

Jiménez Magaña, M.R. 2020. **El proceso de diseño de redes presurizadas: métodos y retos.** Serie de Seminarios Virtuales 2020. Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMEII). México. 53 pp.

Consulta el portal del COMEII y sus redes sociales:

[www.comeii.com](http://www.comeii.com) y [www.riego.mx](http://www.riego.mx)