

# Modelado Computacional de Tecnologías de Climatización Sustentable Basada en Energía Solar y Geotermia

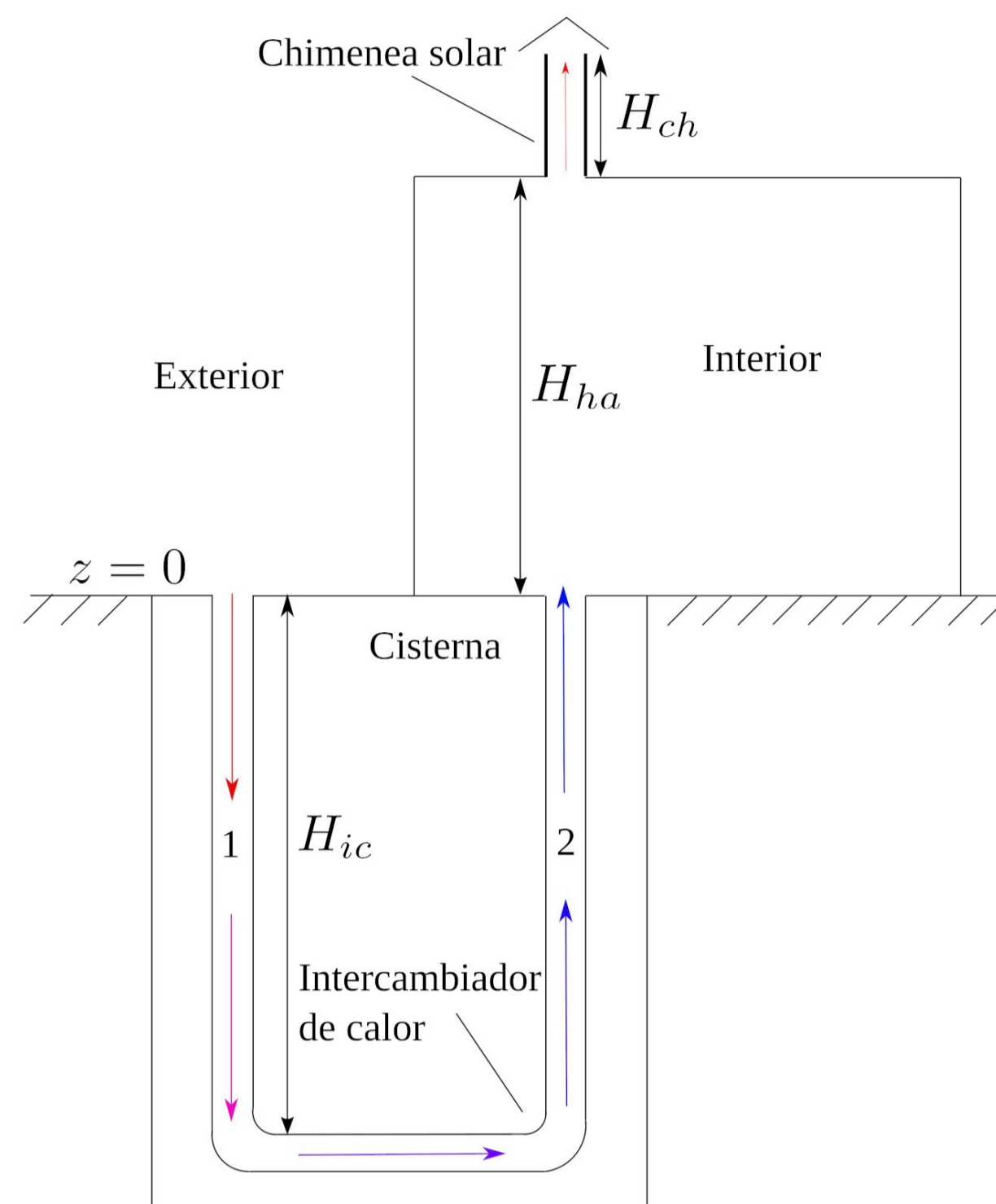
José Luciano Caamal Ayala, Dr. Juan Manuel Rivero Fernández, Dr. Johan Jair Estrada López .

Facultad de Matemáticas de la UADY, ENES unidad Mérida, UNAM.

caamalayala8@gmail.com

## Motivación

El acondicionamiento térmico de espacios consume aproximadamente el 25% de la energía global [1], lo que impulsa la búsqueda de soluciones sostenibles. Los sistemas de climatización pasiva, como los Intercambiadores de Calor Tierra-Aire (EAHE) [2] y las Chimeneas Solares (CS), son alternativas atractivas. La combinación de ambos maximiza el rendimiento.



## Objetivo General

Desarrollar simulaciones numéricas con volúmenes de control, validadas por un modelo semi-analítico, para el diseño, análisis y optimización de un sistema de climatización pasivo, considerando la transferencia de calor y la dinámica de fluidos, buscando maximizar la eficiencia y garantizar el confort térmico en todo momento.

## Objetivos específicos

- Formular un modelo acoplado (EAHE + CS).
- Desarrollar simulaciones numéricas con el código Ixchel2D (volúmenes de control) y el software OpenFoam.
- Desarrollar un modelo semi-analítico simplificando las ecuaciones.
- Validar las simulaciones numéricas con datos de la literatura y el modelo semi-analítico.
- Realizar un análisis paramétrico del sistema.

## Metodología

### 1) Modelado Numérico.

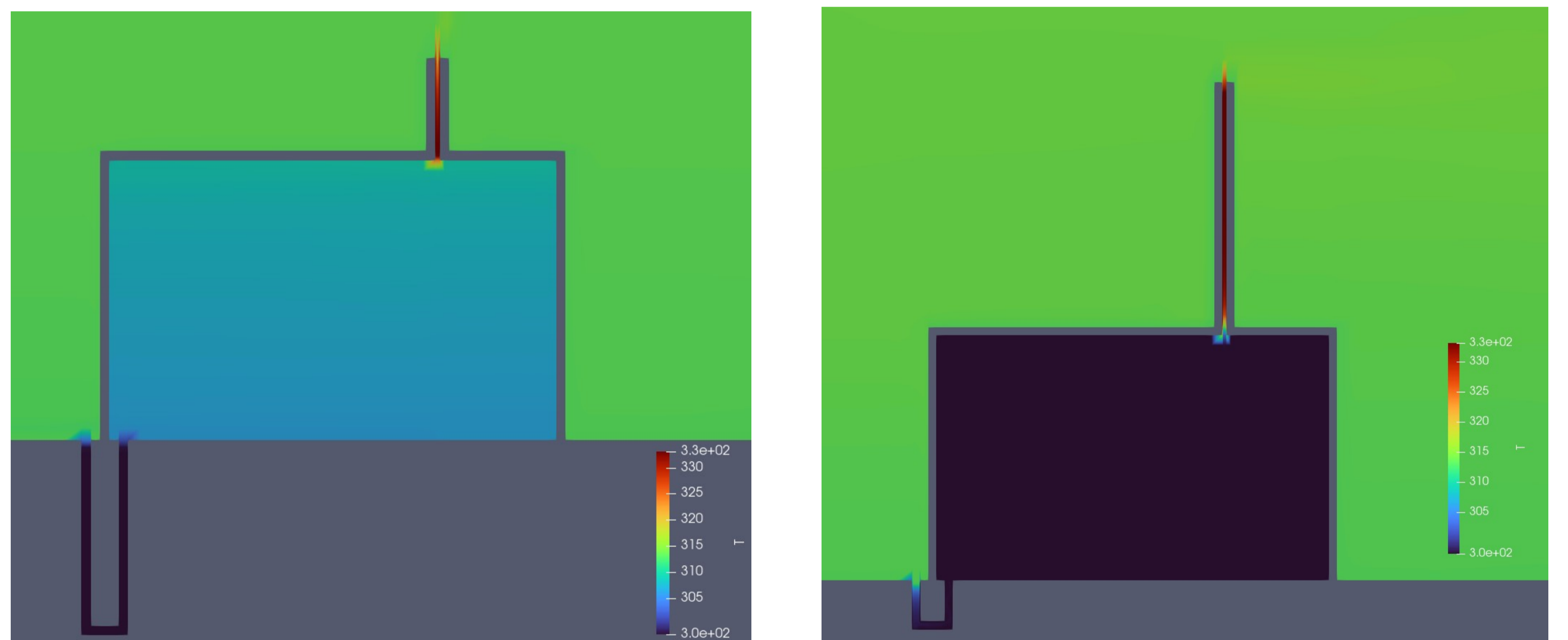
- Método: Volumen finito, usado en el software Open Foam, y volúmenes de control, implementado en el código Ixchel2D [3].
- Ventaja: Se garantiza la conservación local de las propiedades físicas (masa, cantidad de movimiento, energía).

### 2) Modelo Analítico.

- Suposiciones: Flujo unidimensional y predominantemente axial, aplicación de la Aproximación de Boussinesq.
- Las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía simplificadas.
- La estrategia es que asume una temperatura de pared constante en el intercambiador de calor, justificada por la estabilidad térmica del subsuelo a profundidad.

## Resultados y discusión

Se realizaron simulaciones 2D en Open Foam con distintas configuraciones de parámetros geométricos. Aquí se muestran el estado final de dos casos: En el de la izquierda se muestra una CS de 5cm de ancho por 1 metro de alto, con un EAHE de 10 cm de ancho y 2 metros de profundidad. En la derecha se aprecia una CS de 5 cm de ancho por 3 metros de alto, con un EAHE de 10 cm de ancho y medio metro de profundidad.



Se aprecia que el caso izquierdo consigue un menor enfriamiento que el de la derecha (algo esperado por el modelo semi-analítico). Esto se debe a la capacidad de tiro de la CS. Mientras más alta sea, y/o más delgada, mayor será su capacidad de succión, garantizando un flujo continuo de aire fresco, incluso con un EAHE de menor longitud. Estos resultados son prometedores y servirán como comparaciones directas para simulaciones con el código Ixchel2D y el modelo semi-analítico.

## Conclusiones

- 1) Se planteó correctamente el diseño de un sistema de enfriamiento pasivo.
- 2) Se desarrollaron simulaciones numéricas 2D con el programa Open Foam que resultan ilustrativas y prometedoras.
- 3) Se consiguió una validación cualitativa del modelo semi-analítico al estudiar los dos casos presentados.

El proyecto actual se mantiene en desarrollo y considera la construcción de un prototipo experimental para una etapa futura. Las simulaciones mostradas sirven como una primera validación para el correcto funcionamiento del sistema.

## Agradecimientos

- 1) Agradecemos al Dr. Juan Carlos Cajas Garcia por la aportación de su código Ixchel2D y sus asesorías en el correcto uso del mismo.
- 2) Agradecemos el apoyo financiero de la UNAM por medio del proyecto PAPIIT IA100225

## Literatura citada

- 1) International Energy Agency, Renewables 2024: Analysis and forecast to 2030 (Oct. 2024).
- 2) J. M. Rivero, F. M. Lavielle, Earth-air thermal siphon as a passive air-conditioning system for an arid climate, International Journal of Heat and Mass Transfer 210 (2023) 124171.
- 3) [Cajas Treviño, 2023] Cajas Treviño, J. P. (2023). Desarrollo del software Ixchel2d para simulaciones térmicas. Tesis de maestría, UNAM.