

A thick black L-shaped frame surrounds the text. The top horizontal bar is on the left, the left vertical bar is on the left, and the bottom horizontal bar is on the right, with a vertical bar on the right side.

# SIMULACIÓN POR ORDENADOR Y EXPERIMENTACIÓN CIENTÍFICA

UNA REVISIÓN CRÍTICA DE LAS COMPARACIONES  
FILOSÓFICAS

- ¿En qué contexto filosófico nace la epistemología de las simulaciones por ordenador y en qué se diferencia de la epistemología tradicional de la ciencia?

# 1. CONTEXTO CIENTÍFICO DEL TRABAJO: SISTEMAS COMPLEJOS

- Sistema caótico
- No lineal
- Intratable analíticamente
- Impredecible
- Muchas variables y grados de libertad
- Auto-organización
- Patrones emergentes

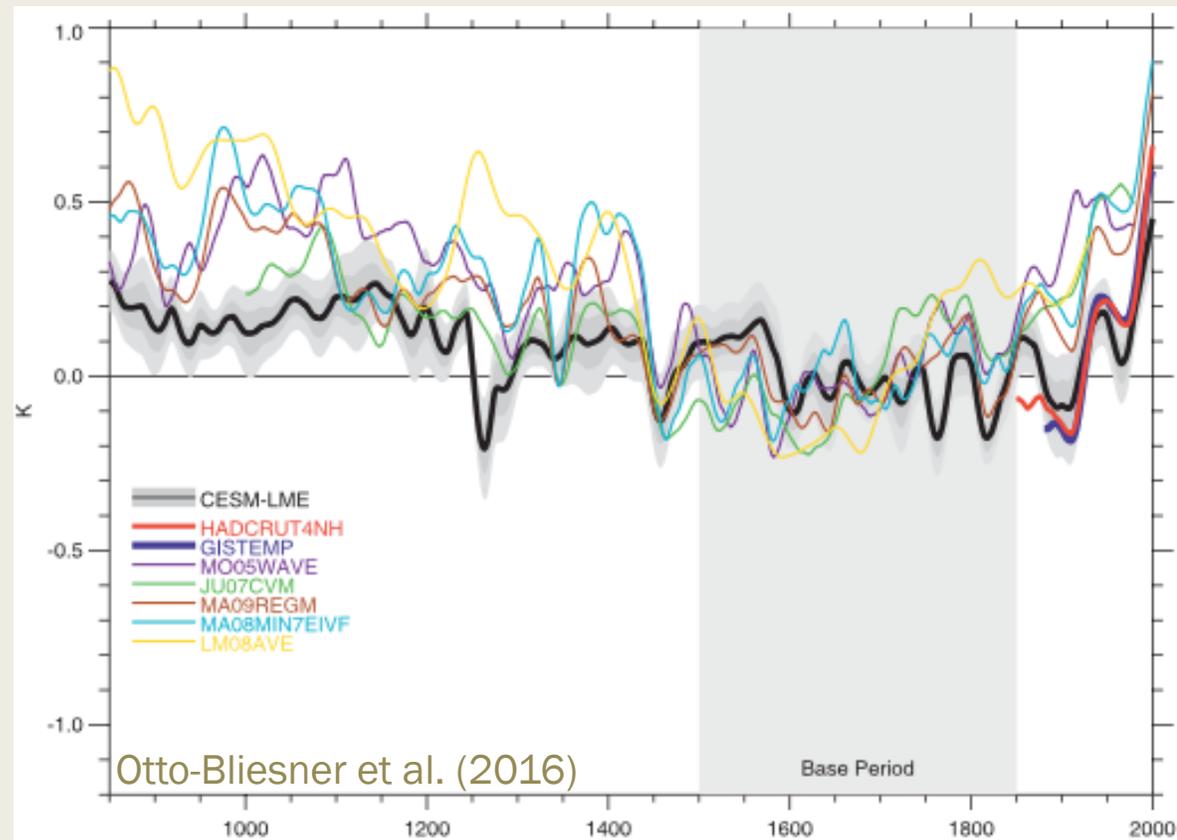
# 1. CONTEXTO CIENTÍFICO DEL TRABAJO: SISTEMAS COMPLEJOS

- *“sistemas para los cuales las leyes gobernantes de la física son bien entendidas pero, debido a la complejidad de las interacciones que desarrollan, las implicaciones de estas leyes no lo son. Estos sistemas, generalmente caóticos y no lineales, son típicamente estudiados usando las técnicas de **simulación por ordenador**” (Winsberg, 2001, p. 442).*

# 1. CONTEXTO FILOSÓFICO DEL TRABAJO: DE LAS TEORÍAS A LA APLICACIÓN

- Giro 'material' o 'pragmático' en filosofía de la ciencia inaugurado por Hacking y Cartwright
- Se preocupa por la aplicación de las teorías, no solo por las teorías en abstracto
- La epistemología de la ciencia de sistemas complejos depende de esta nueva perspectiva.
- Ejemplo de sistema complejo: el sistema climático. Se estudia gracias a simulaciones de modelos climáticos.

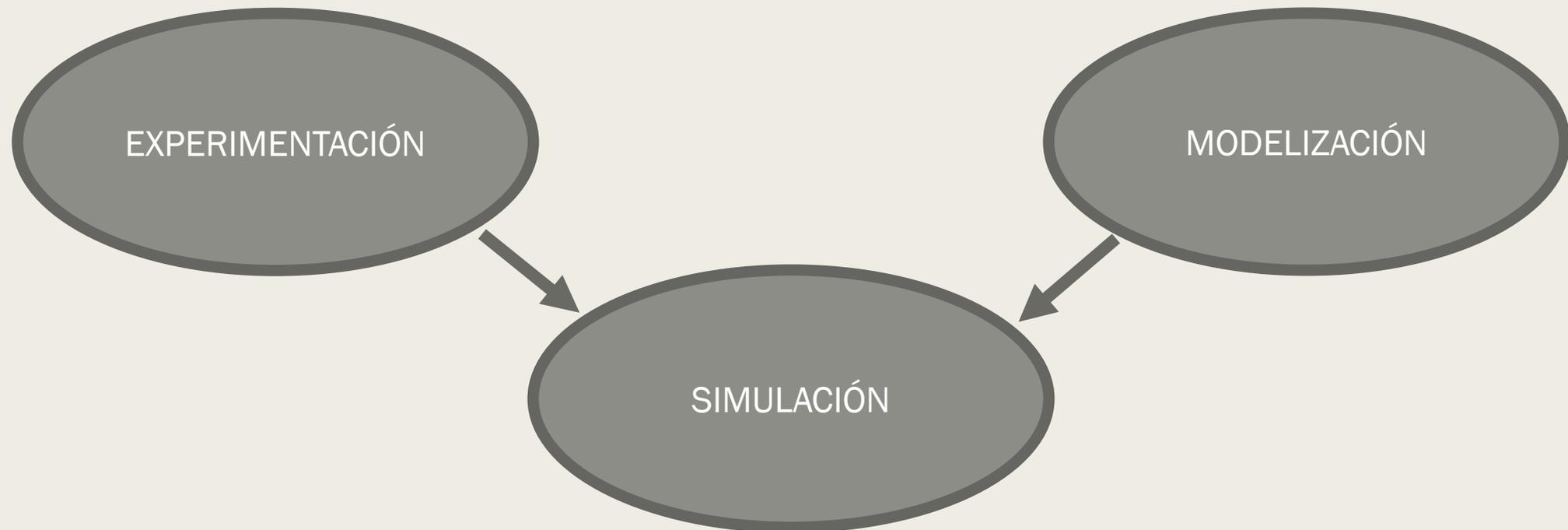
# 1. CONTEXTO FILOSÓFICO DEL TRABAJO: DE LAS TEORÍAS A LA APLICACIÓN



El estudio del sistema climático

# PROPÓSITO DEL TRABAJO

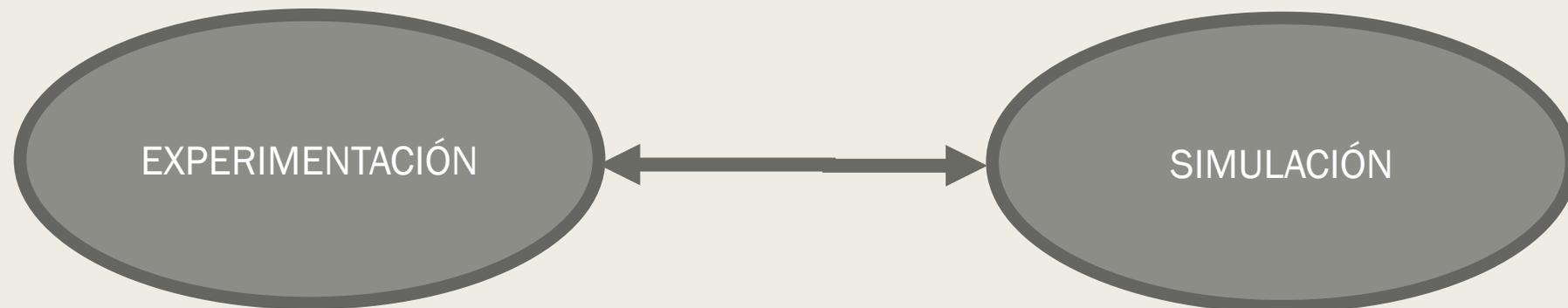
- La **simulación** en ciencia de sistemas complejos es una forma de **modelización** innovadora fuertemente vinculada a la **experimentación**.



# PROPÓSITO DEL TRABAJO

La **simulación** y la **experimentación** están vinculadas cuanto a tres importantes aspectos:

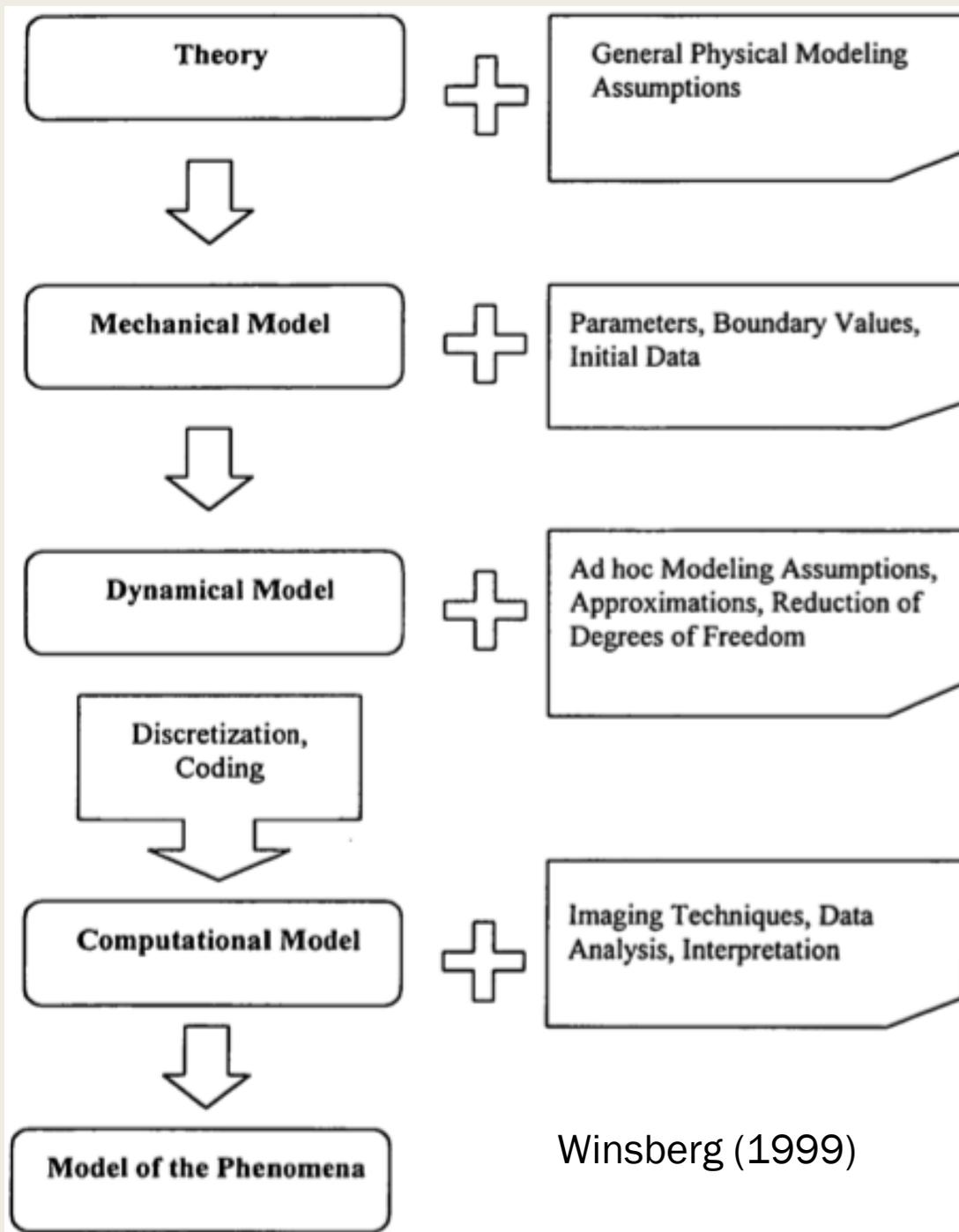
- i) las fuentes de **legitimidad epistémica** en el proceso de creación de una simulación.
- ii) el papel que juegan como **representaciones científicas** .
- iii) su relación con los marcos y principios más generales de las **teorías**.



## 2. NOVEDADES EPISTÉMICAS DE LAS SIMULACIONES POR ORDENADOR

- La epistemología de las simulaciones por ordenador aborda problemas filosóficos genuinamente nuevos y no se puede reducir a un análisis conceptual que se limita a problemas asociados a las teorías.
- Una epistemología de la ciencia de sistemas complejos como la ciencia climática debe enfocarse desde esta perspectiva.
- La epistemología de las simulaciones por ordenador está motivada por compromisos ineludibles entre principios epistémicos y prácticas metodológicas que cualquier científico debe asumir al construir una simulación por ordenador

## 2. NOVEDADES EPISTÉMICAS DE LAS SIMULACIONES POR ORDENADOR



- Las simulaciones *involucran* modelos: mecánicos, dinámicos, computacionales, *ad hoc* y modelos del fenómeno.
- Pese a las voces discrepantes, se afirma que las simulaciones no son un mero 'truco computacional'.

# 3. CONSTRUCCIÓN Y AUTONOMÍA

- Modelos y experimentos: mediadores autónomos entre las teorías y el mundo (Hacking, 1996; Morgan & Morrison, 1999).

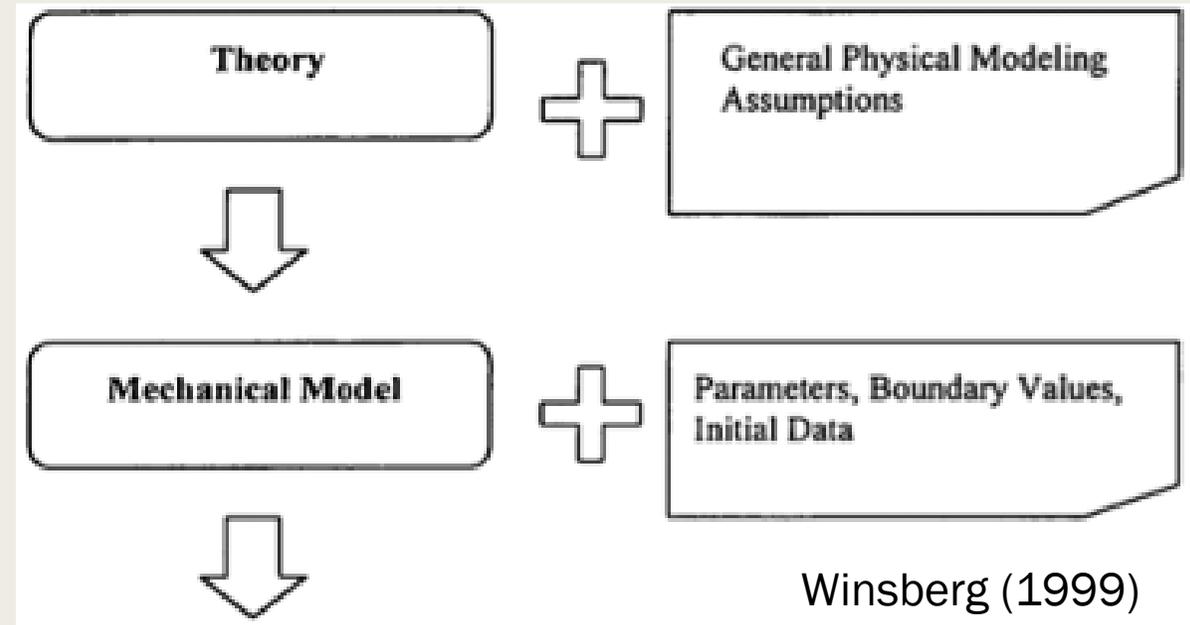
*“... la experimentación tiene una vida propia.”* (Hacking, 1996, p. 178)

*“... los modelos pueden tener una vida propia.”* (Morgan & Morrison, 1999, p. 18)

- ¿Las simulaciones tienen también un estatus epistémico autónomo?

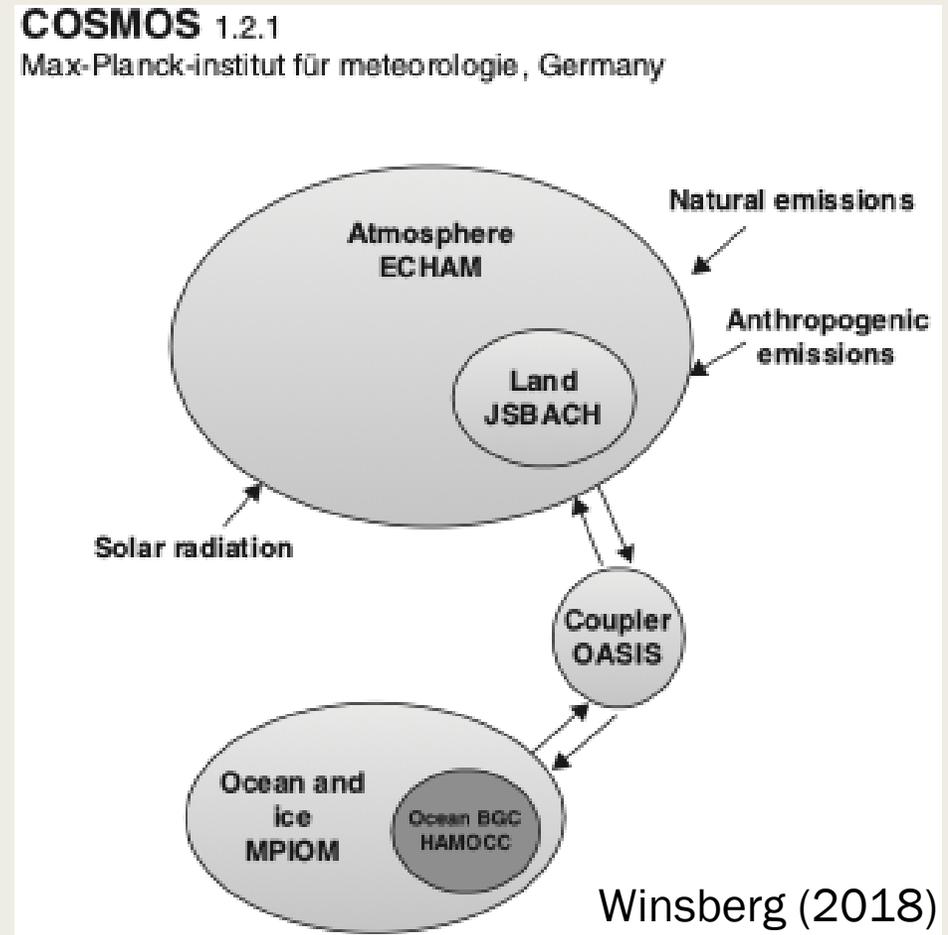
# 3. 1. MODELOS, TEORÍAS, Y SIMULACIONES

- Rechazo de las teorías como ‘manual de instrucciones’ que prescribe como diseñar experimentos, simulaciones, y como testarlos.
- Rechazo de una jerarquía epistémica ‘hacia arriba’ en la que las teorías ejercen una fuerza regulativa sobre su aplicación.
- La regulación, la ejerce, por ejemplo, la *modularidad* del modelo computacional a nivel de software.



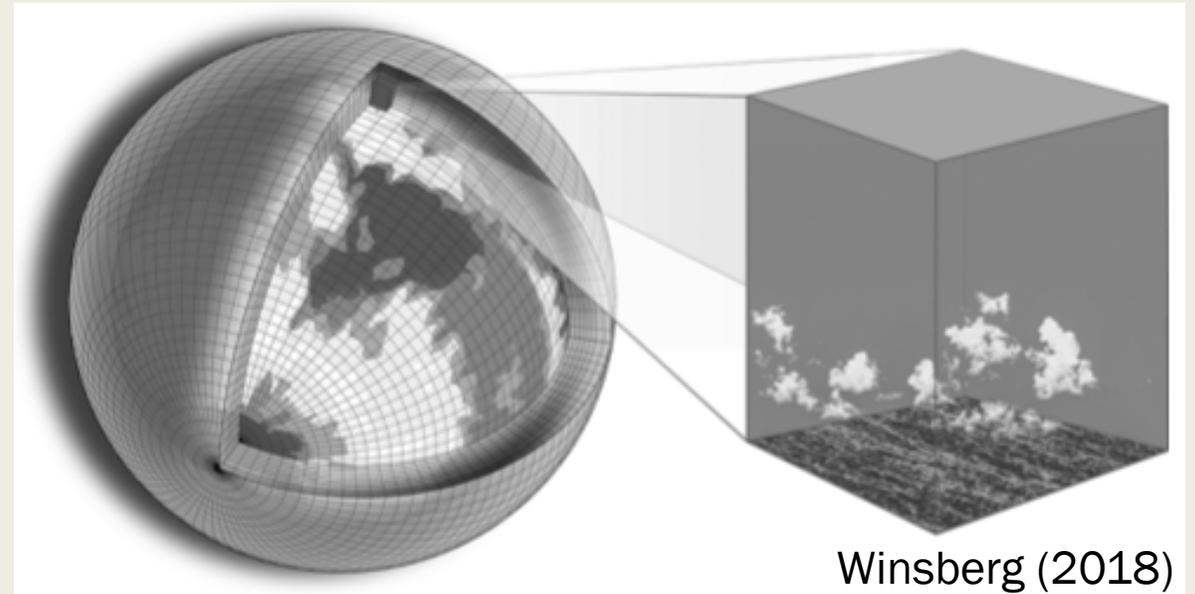
# 3. 1. MODELOS, TEORÍAS, Y SIMULACIONES

- Rechazo de las teorías como ‘manual de instrucciones’ que prescribe como diseñar experimentos, simulaciones, y como testarlos.
- Rechazo de una jerarquía epistémica ‘hacia arriba’ en la que las teorías ejercen una fuerza regulativa sobre su aplicación.
- La regulación, la ejerce, por ejemplo, la *modularidad* del modelo computacional a nivel de software.



# 3. 1. MODELOS, TEORÍAS, Y SIMULACIONES

- Compromisos teóricos y metodológicos: maximizar recursos computacionales vs. maximizar la fidelidad del modelo al sistema-diana.
- Crítica a la visión semántica de las teorías por no incorporar estos aspectos novedosos de la praxis científica relacionados con las simulaciones.



Winsberg (2018)

Mallado típico de un modelo climático

## 3. 2. CREDENCIALES EPISTÉMICAS DE LAS SIMULACIONES

- Las simulaciones portan sus propias credenciales epistémicas: ‘modelización desde arriba’, validación, verificación y confirmación
- Al igual que los experimentos, han ganado credibilidad en su recorrido histórico como prácticas establecidas a base de prueba y error.

## 3. 2. CREDENCIALES EPISTÉMICAS DE LAS SIMULACIONES

- requieren de habilidades prácticas, conocimiento situado, creatividad, ingenio y toma decisiones que no están determinadas por las teorías.
- Son credenciales epistémicas semejantes a las credenciales de la experimentación en cuanto que le confieren a las simulaciones (i) un estatus epistémico autónomo respecto al poder regulativo de las teorías y (ii) un rol mediador entre estas y el mundo;

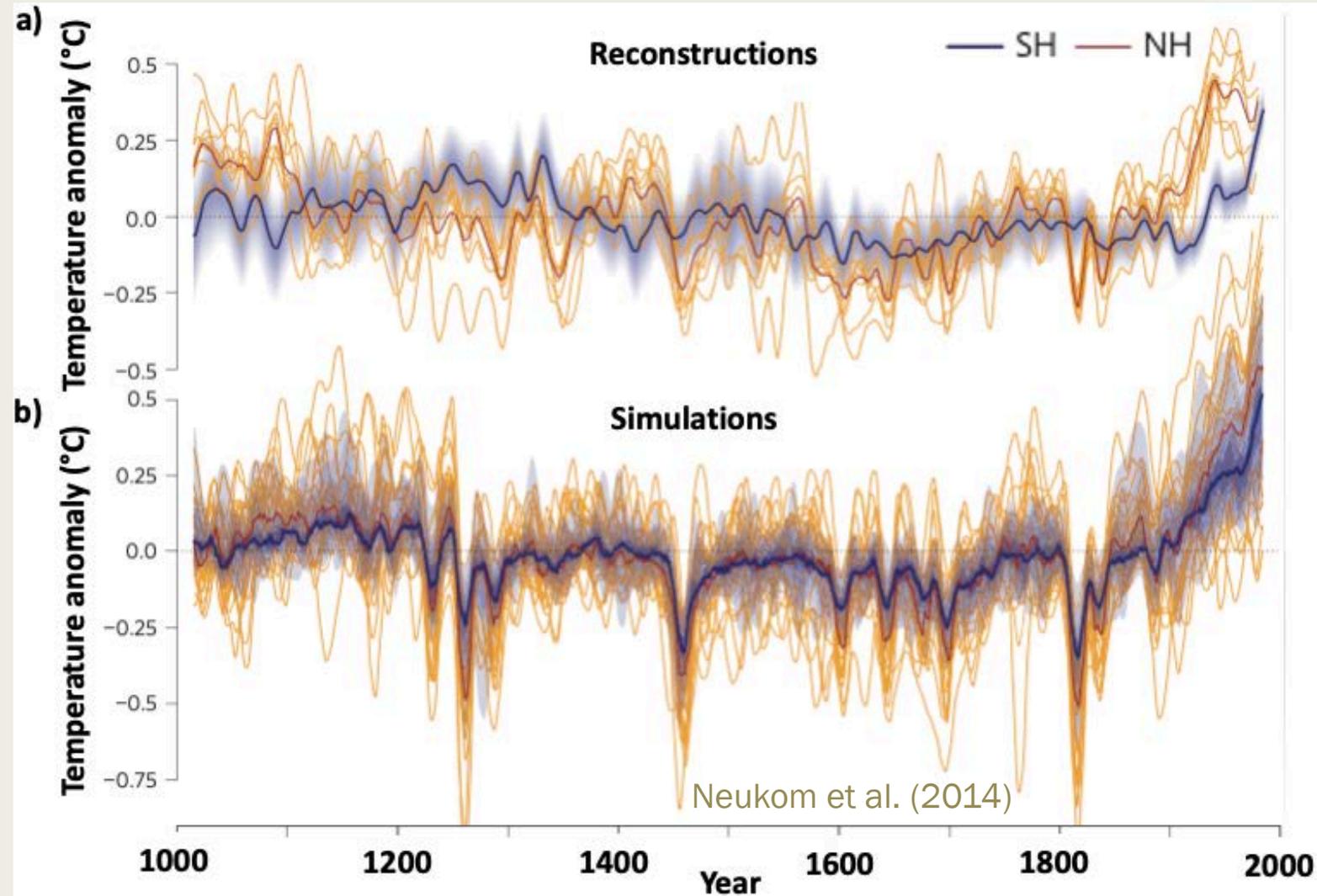
# 3. 2. 1 MODELIZACIÓN ‘DESDE ARRIBA’

- Debido a la opacidad epistémica y a la compleja estructura de modelos de una simulación, la vía de la demostración hipotético-deductiva no es fructífera.
- simular es una práctica innovadora que conecta las prácticas tradicionales de modelización y experimentación, requiriendo ‘inputs’ tanto formales como experimentales para funcionar

# 3. 2. 2 VALIDACIÓN, VERIFICACIÓN Y CONFIRMACIÓN

- Validación: comprobación de que el modelo computacional sigue siendo apto como representación del fenómeno.
  
- Verificación: revisión del código para evitar errores humanos o 'bugs' del programa que hacen colapsar la simulación.

- Confirmación: evaluación final de los datos de salida del modelo con otras fuentes. El problema asociado es la circularidad datos-modelo. Análisis de robustez.



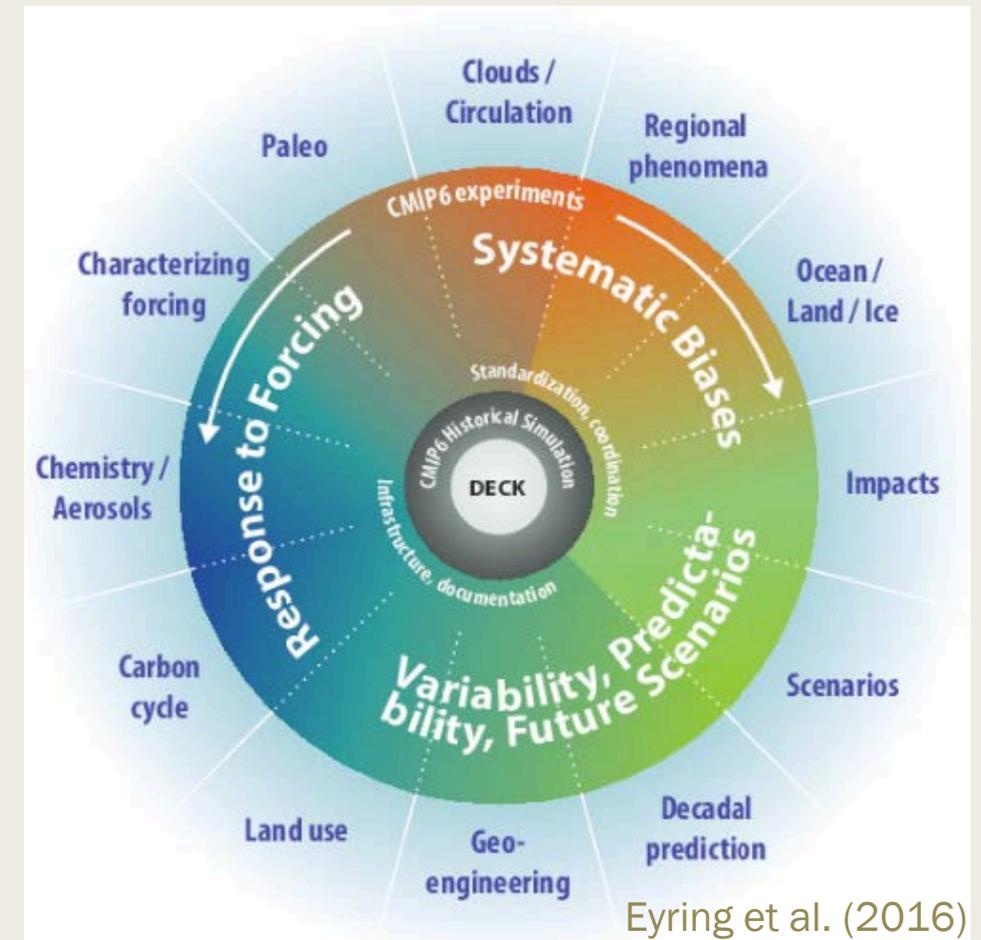
# 4. REPRESENTAR E INTERVENIR

Se pretende mostrar que...

- Las simulaciones tienen poderes representacionales similares al objeto de un experimento.
- Los poderes epistémicos (representacionales, inferenciales...) que relacionan simulaciones y experimentos descansan sobre compromisos ontológicos.

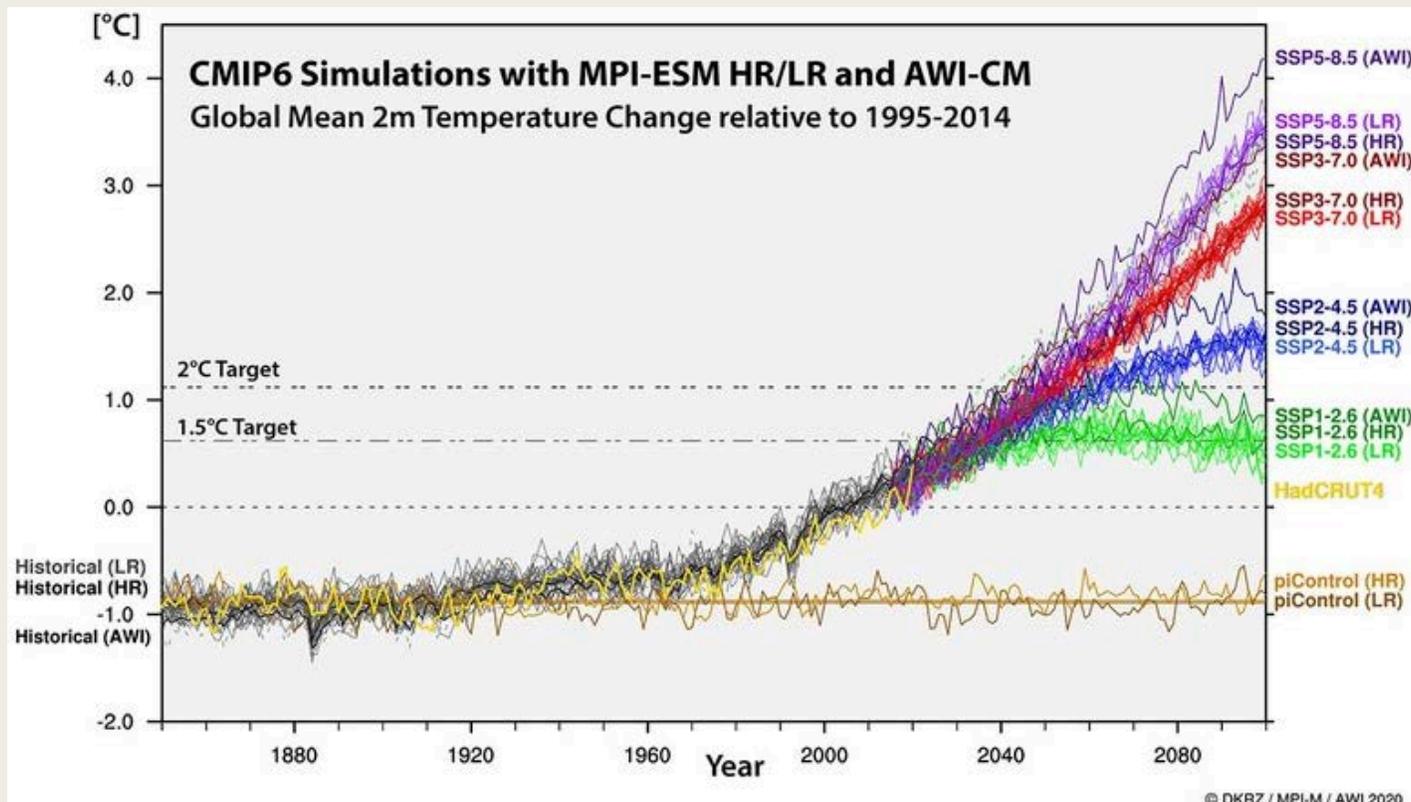
# 4. 1 LA CAPACIDAD REPRESENTACIONAL DE LAS SIMULACIONES

- Ambivalencia representacional: “los modelos se construyen para incorporar alguna forma de representación, de la teoría, del mundo, o posiblemente de ambas a la vez” (Morgan, 2005, p. 320).
- De los experimentos, se suele decir que son representantes de un fenómeno u objeto del mundo.



# 4. 1 LA CAPACIDAD REPRESENTACIONAL DE LAS SIMULACIONES

- ¿Dónde está la conexión entre ser representativo *de* o ser *un* representante? En la noción de sucedáneo. Por ejemplo, un sucedáneo del clima terrestre:

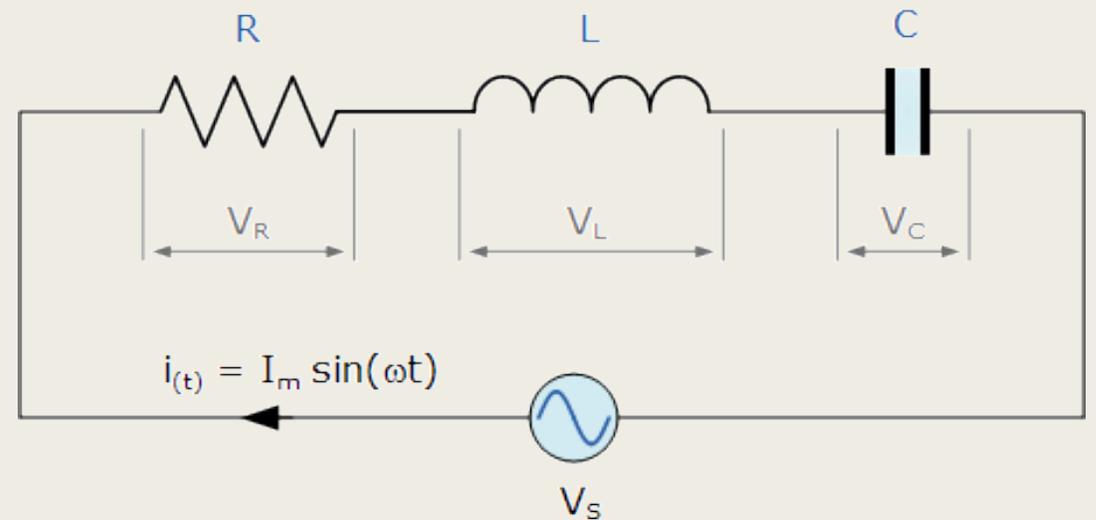


## 4. 2 EL PROBLEMA DE LA MATERIALIDAD

- A pesar de todo, en el laboratorio los resultados se miden, en el ordenador se crean. Es una disputa ontológica.
- ‘Principio materialista’ de Durán (2013): el poder epistémico de las simulaciones depende del ‘grado de materialidad’ que estas poseen y comparten con el sistema diana.
- Mayor grado de materialidad compartido → Más se asemeja a un experimento → Mayor poder epistémico.

## 4. 2 EL PROBLEMA DE LA MATERIALIDAD

- Principio de materialidad débil: similaridad determinada por relaciones físicas causales, no composición material.
- Ejemplo de Hughes (1999): un circuito eléctrico hace de simulador analógico de un péndulo mecánico.
- El simulador analógico cuenta como experimento → mayor poder epistémico. No sucede lo mismo con un simulador digital.



Circuito RLC: 'péndulo eléctrico'

## 4. 2 EL PROBLEMA DE LA MATERIALIDAD

- Principio de materialidad fuerte (Morgan, 2005): similaridad determinada por relación de identidad material. Discrepa del criterio de Hughes.
- Las simulaciones son experimentos simbólicos, a diferencia de los experimentos materiales.
- Los primeros tienen menor poder inferencial sobre el sistema-diana material que los segundos, pero mayor sobre el sistema-diana simbólico.
- Crítica: incompatibilidad conceptual de la noción de experimento simbólico.

## 4. 2 EL PROBLEMA DE LA MATERIALIDAD

- Criterio de Parker (2009): similitud relevante, sea formal o material.
- Equivalencia ontológica y epistémica entre simulaciones y experimentos.
- Parker no tiene en cuenta el principio de realizabilidad múltiple.

# CONCLUSIONES

- Primera tarea: hacer ver que la epistemología de simulaciones por ordenador es una tarea filosófica nueva.
- La segunda tarea ha consistido en explicar estos compromisos epistémicos y metodológicos: recursos computacionales limitados, 'opacidad epistémica', etc.
- En paralelo, se han examinado las credenciales epistémicas que avalan la construcción y el uso de una simulación: 'modelización desde arriba', la verificación, la validación y la confirmación....

# CONCLUSIONES

- En términos representacionales, se ha desarrollado la noción de simulación como *sucedáneo* de un sistema, a medio camino entre un objeto representante y un objeto representativo de dicho sistema.
- En la última sección, se ha puesto de manifiesto que las similitudes entre simulaciones y experimentos trasciende el plano epistemológico hacia tesis ontológicas.
- Los argumentos pivotan en torno al principio de materialidad: según este sea más fuerte o débil, las simulaciones se asemejan de distinta forma a los experimentos y tienen un poder epistémico asociado.

# BIBLIOGRAFÍA

- Cartwright, N. (2003). How the Laws of Physics Lie. Oxford Academic.
- Dethier, C. (2022). When is an ensemble like a sample? “Model-based” inferences in climate modeling . Synthese.
- Formanek, J. M. (2018). Grounds for Trust: Essential Epistemic Opacity and Computational Reliabilism. Minds and Machines, 645-666.
- Gelfert, A. (2012). Scientific Models, Simulation, and the Experimenter’s Regress . En P. H. (Eds.), Models, Simulations, and Representations. Routledge.
- Hacking, I. (1996). Representar e Intervenir. Paidós.
- Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. Synthese, 615-626.
- Lenhard, J. (2007). Computer Simulation: The Cooperation between Experimenting and Modeling. Philosophy of Science, 74(2), 176-194.

# BIBLIOGRAFÍA

- Morgan, M. S. (2005). Experiments versus models: New phenomena, inference and surprise. *Journal of Economic Methodology*, 12(2), 317-329.
- Morrison, M. S. (1999). *Models as Mediators*. Cambridge University Press.
- Oreskes, N. (1994). Verification, Validation, and Confirmation of Numerical Models in the Earth Science. *Science*, 641-646.
- Sitte, R. (2009). About the Predictability and Complexity of Complex Systems. En M. A.A. (Eds.), *From System Complexity to Emergent Properties*. Springer-Verlag.
- Winsberg, E. (1999). Sanctioning Models: The Epistemology of Simulation . *Science in Context*, 12(2), 275-292.
- Winsberg, E. (2018). *Philosophy and Climate Change*. Cambridge University Press.