Earth Science, Fluid Dynamics, and Mathematics. Interactions and Methods

La metáfora del gran cinturón de circulación oceánica: Ventilación del océano global y la infravalorada contribución del Pacífico

René Gabriel Navarro Labastida - *rnavarro@ictp.it*

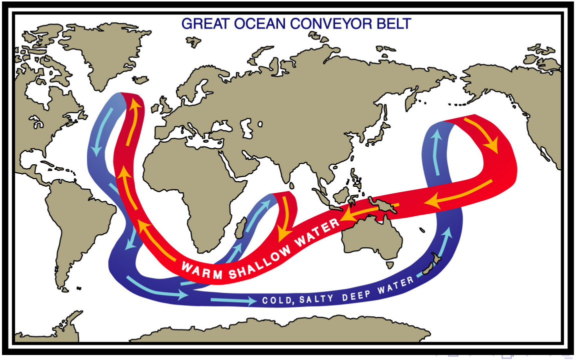
https://enerle.github.io/rnavarro/

17 Mayo, 2022

La metáfora del gran cinturón de circulación oceánica

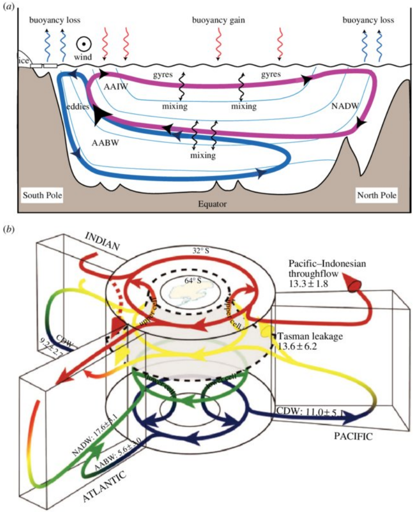
El esquema del "Great Ocean Conveyor Belt" publicado por Broecker (1987) es una metáfora de la circulación oceánica global. El esquema expresa

- el agua de la capa superior en el Atlántico Norte se enfría y se transforma en agua profunda (NADW)
- dicha agua fluye hacia el Océano Austral, el Océano Índico y el Océano Pacífico como parte de un sistema de circulación global tridimensional
- el agua fría profunda es transformada en agua mas ligera y se reintegra a niveles superficiales por medio de los océanos Pacífico e Índico
- El flujo hacia el norte (superficial) y el flujo hacia el sur de agua fría (profunda) en el Atlántico provoca el flujo de calor neto positivo

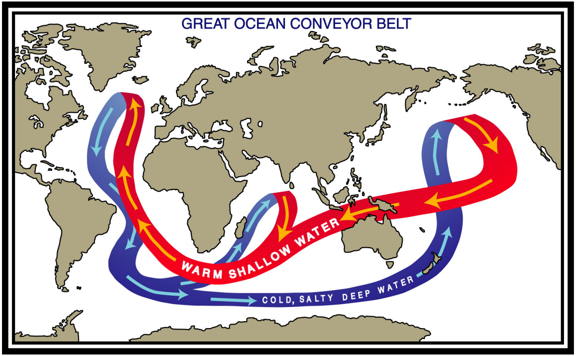


La metáfora del gran cinturón de circulación oceánica

- Es un sistema complicado de corrientes impulsadas por los vientos, flujos de densidad, evaporación, precipitación, calentamiento y el enfriamiento y por la mezcla debida a los vientos y las mareas
- Sin embargo en el modelo de Broeker la formación de aguas profundas en el norte del Atlántico Norte, es el unico motor de la circulación de la cinta transportadora.
- Los esquemas mas recientes muestran la verdadera complejidad del sistema, pero también se han vuelto dificil de entender (**”no aclares que oscureces”**)



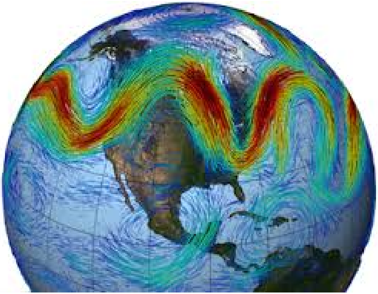
- La gran fortaleza del esquema es su representación simple y atractiva de corrientes muy complicadas, procesos físicos complicados e interacciones atmósfera-océano complicadas
- Alguien que sepa poco de oceanografía puede comprender fácilmente el concepto de una circulación oceánica global tridimensional e interconectada



(Richardson, 2008)

¿Cuánto sabemos sobre el océano?

- El papel de la dinámica de fluidos geofísicos es la comprensión del entorno natural y en particular, de la dinámica de las atmósferas y los océanos
- Es una rama de las geociencias que se ocupa de la dinámica de fluidos y que, por tradición, busca extraer la esencia "pura" de un fenómeno, omitiendo detalles cuando sea posible
- Las geociencias en general se ocupan de sistemas complejos de los que buscamos explicaciones de los fenómenos a un nivel más alto que el simple cálculo directo de las interacciones de todas las partes constituyentes
- Es decir, tratamos de desarrollar teorías o hacer modelos simples del comportamiento del sistema como un todo (Vallis, 2016)
- Ejemplo de posible interes: The illustrated guide to a Ph.D.



¿Cuánto sabemos sobre el océano?

Datos curiosos (y vergonzosos)

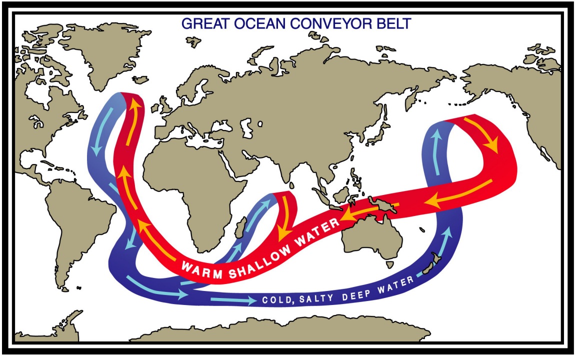
- Solo se no conoce alrededor de 6% de los oceanos globales (calculo mas bien heuristico)
- Mas gente ha viajado al espacio exterior de las que han explorado el océano profundo (514 vs 3)

¿En verdad sabemos tan poco?

- Intrínsecamente las geocencias implican uso de metodología en la que se hacen las máximas simplificaciones posibles a un problema, buscando reducirlo a una esencia pura
- En contraste con algunas ramas de la ciencia donde una clara tendencia a abarcar la complejidad de la realidad mediante el uso de complicados modelos

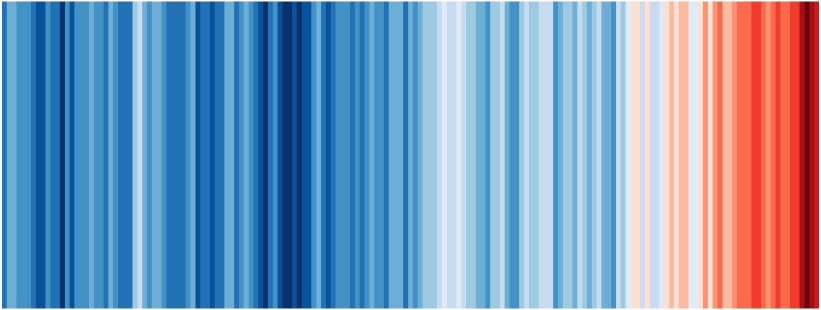
La metáfora del gran cinturón de circulación oceánica

- El esquema de la cinta transportadora "no reproduce" la circulación global real porque es demasiado complicada para un diagrama simple, pero ha servido bien al proporcionar una imagen simple a pesar de sus muchas inexactitudes y simplificaciones excesivas
- Se han realizado refinamientos del esquema para reflejar algunas de las complejidades de la circulación de vuelco,



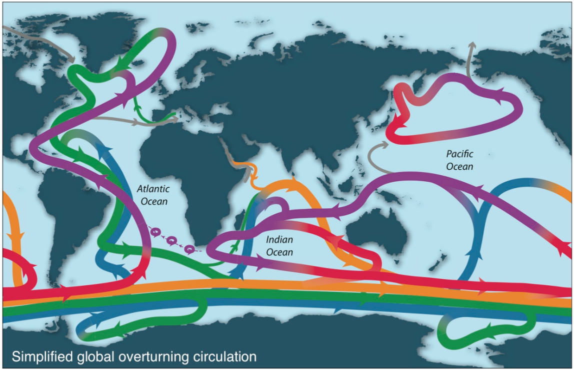
El razonamiento metafórico creativo en la ciencia

- La construcción de metáforas es especialmente importante para crear nuevos modelos científicos mediante la identificación de estructuras de razonamiento metafórico en la ciencia
- Ejemplo: John Marshall, 3 strategies for effectively talking about climate change — TED Countdown



La metáfora del gran cinturón de circulación oceánica

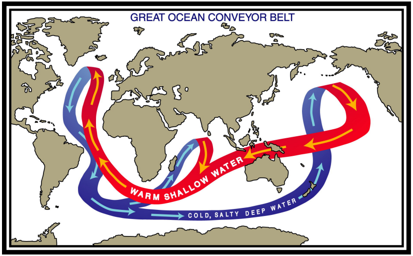
- El gran cinturón de circulación oceánica es una importante componente del sistema climático global, así como la principal vía de redistribución de masa y energía entre las diferentes cuencas y capas oceánicas
- Es una muy útil simplificación del complejo sistema oceánico que logra compaginar infinidad de procesos y escalas temporales en una simple metáfora del movimiento "perpetuo" del océano

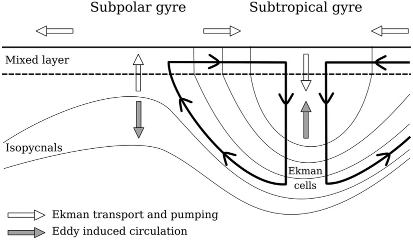


(Richardson, 2008)

El infravalorado Océano Pacífico

- El afloramiento desde las aguas profundas hasta la parte superior del océano es un componente importante del balance de calor en los océanos Índico y Pacífico
- El principal contraste entre el transporte de calor de vuelco profundo del Atlántico



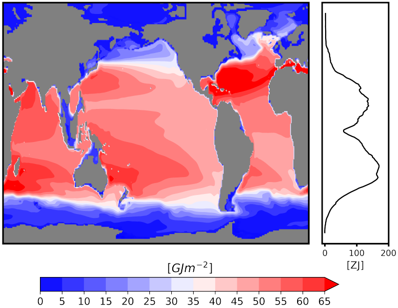


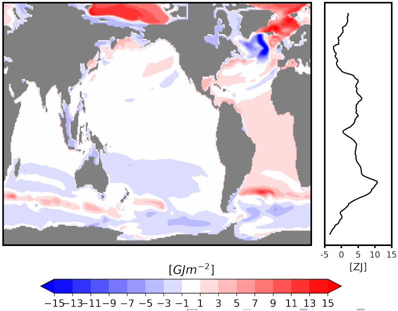
The role of the wind-driven shallow overturning circulation in the heat budget of the tropical Pacific

- Surface circulation dominates most of the heat transport through the shallow overturning circulation branch

Ocean heat content and ocean heat uptake

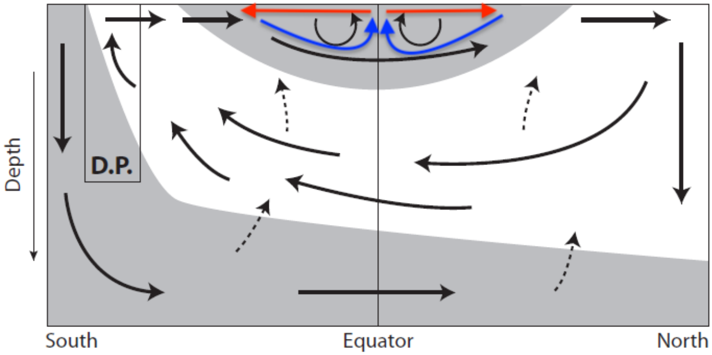
- Oceans are Earth's largest thermal reservoir
- The rate of global warming is determined by the rate at which the ocean takes up surface heat flux anomalies
- The ocean heat uptake involve: ocean ventilation, stratification, and the circulation changes
- Between 80-90% of the earth radiation imbalance due to anthropogenic forcing has been absorbed by the ocean (Levitus et al., 2000,2005)





Ocean Circulation and heat budget

- Based on water mass ventilation the global ocean could be divided into shallow, intermediate, and deep contributions (Talley, 2003)
- Given the various advective regimes along the column, the surface component could be associated with the wind-driven subtropical gyre, while the rest of the ocean is to the deep branches of the meridional overturning circulation



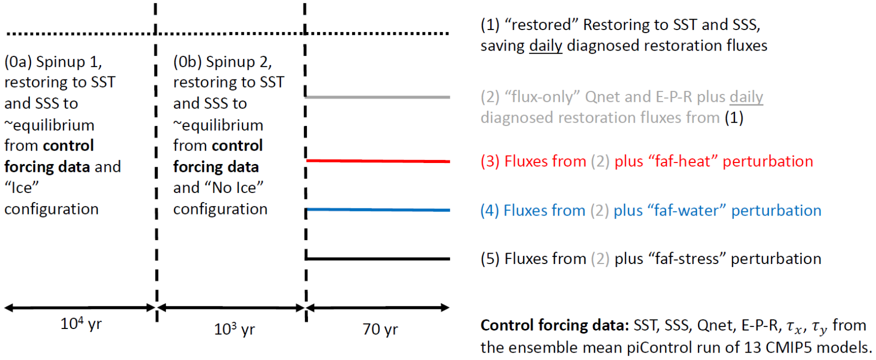
(Vallis, 2012)

Outline

- Ocean response is evaluated using an ocean general circulation model
- A set of simulations are performed in which perturbations to the surface fluxes are applied
- Both unperturbed and transient climate conditions are evaluated
- Relevant physical processes are represented by a set of temperature tendency diagnostics
- The total heat budget is partitioned into the contributions coming from the wind-driven shallow circulation and the deep unventilated ocean

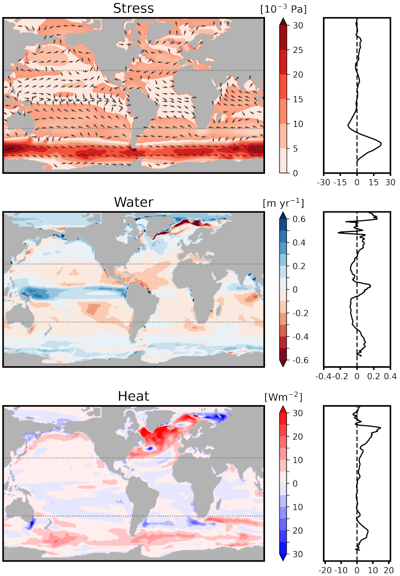
Forcing protocol

- Model: NOAA-GFDL Modular Ocean Model (MOM) version 5
- Integration following multicentinal CORE-I (Griffies et al., 2009) and FAFMIP ocean-only protocols (Gregory et al., 2016)



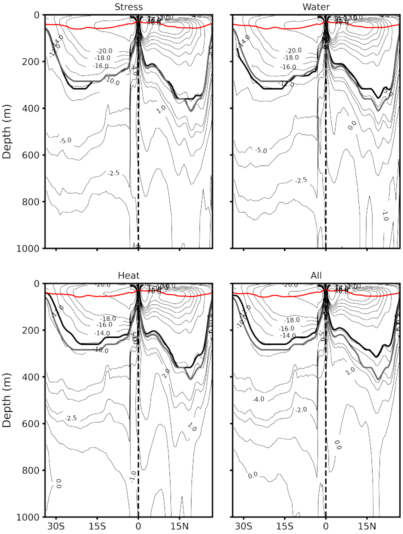
Surface fluxes perturbations

- Defined as positive downwards from the atmosphere to the ocean
- The surface flux perturbations are derived from a set of 13 CMIP5 AOGCs
- Each surface flux representing the transient response of climate system for doubled CO2 concentration under 1pctC02 scenario (Gregory et al., 2016)
- Computed as the difference between the climatological monthly time means of years 61-80 of 1pctCO2 and corresponding 20 years of piControl



Shallow and interior ocean heat budgets

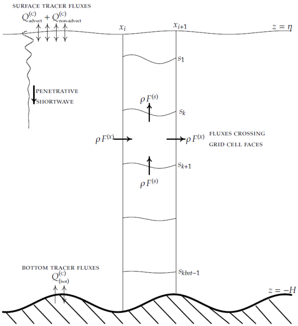
- Vertical division considering the shallow and deep overturning circulation regimes (depth-dependent integrals decomposition)
- The Interior ocean is defined as the region of the water column below the deepest vertical limit of the shallow overturn
- Determination of base of the shallow overturn vertical limit by detection of the maximum subducting level



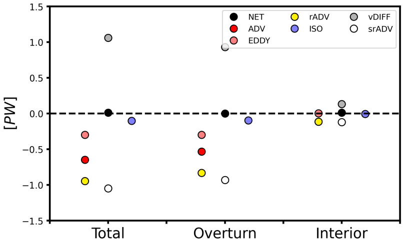
Diagnostic accounting for the ocean heat budget

- The procedure may allow us to determine which processes are in charge of setting the overall heat balance
- The ocean heat budget is expressed as a semi-discrete finite volume formulation within the grid cell (as Griffies et al., 2016)
- Schematically rewritten in terms of the time-dependent diagnostics

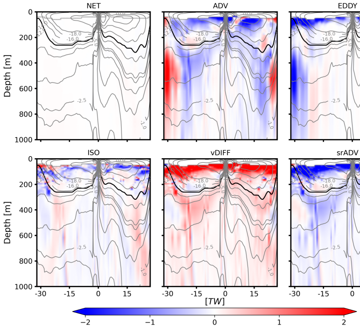
$$\partial_t T_{net} = \partial_t T_{advective} + \partial_t T_{eddy} + \partial_t T_{isopycnal} + \partial_t T_{diapycnal}$$



Heat budget for the steady state (unperturbed climate)



Volume-integrated heat budgets for the Northern Hemisphere tropical Pacific

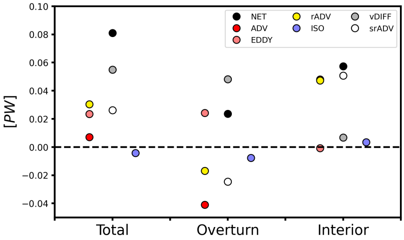


Zonally-integrated heat budgets

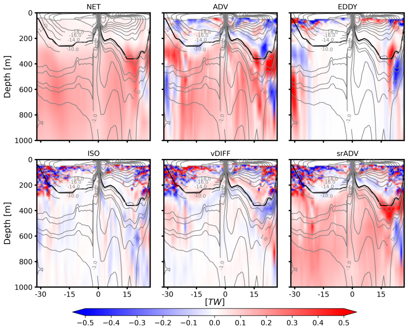
- The heat budget is dominated by advective cooling and vertical diffusive warming
- The shallow ocean holds nearly around 90% of the total budget
- Overall budget arrangement summarized by the advective super-residual framework

- Overall advection cooling is coming both mean and eddy components
- To note the strong mixed layer contribution

Heat budget transient response (heat flux perturbation)



Volume-integrated heat budgets for the Northern Hemisphere tropical Pacific



Zonally-integrated heat budgets

- Both regions account for the overall warming
- The shallow ocean contribution is rather secondary since the interior ocean accounts for most of the overall imbalance (approx. 70%)
- The advective super-residual framework summarize overall budget imbalances

- Near compensation between mean and eddy advective components inside the overturn; overall warming by vertical diffusive mix
- Interior ocean warming nearly determined by mean advection anomalies alone

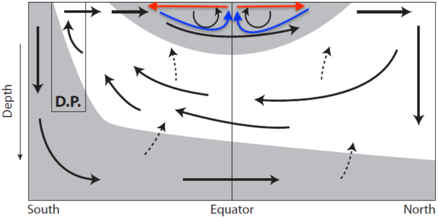
Summary

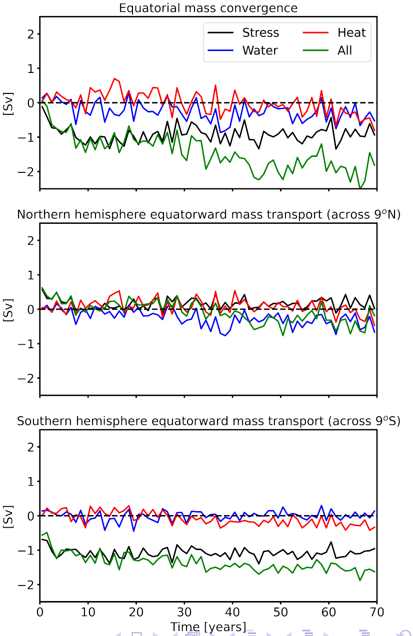
- Total heat budget is partitioned into the contributions related to the shallow and interior ocean
- Heat budget is dominated by advective cooling and vertical diffusive warming (super-residual advection framework)
- Shallow ocean holds nearly around 90% of the total balance
- Under perturbed climate conditions both regions account for the overall warming
- Shallow ocean contribution is rather secondary
- Interior ocean accounts for most of the overall imbalance (approx. 70%)
- Observed warming tendencies are explained in terms of tropical and subtropical circulation changes (ongoing work)

Ongoing work: Tropical and Subtropical circulation

Regional heat budgets are discussed in terms of changes in the,

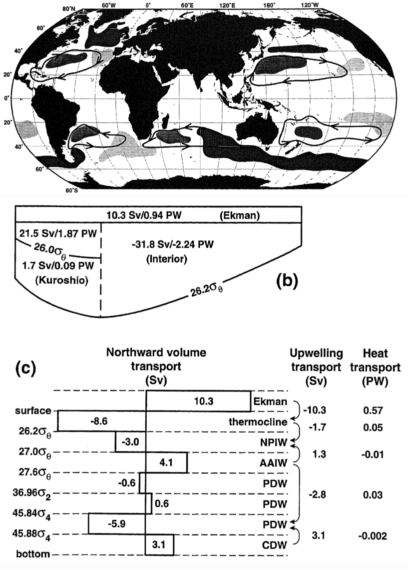
- Meridional equatorward mass transport
- Meridional heat transport by the wind-driven shallow overturning circulation
- Intermediate and deep water mass production rates





Mass balance in the subtropical cell (as Talley, 2003)

- Estimate the contribution to the overturning transport due to shallow, intermediate and deep components
- Procedure is by water masses indetentifacion, based on the isopycnal distribution and ventilation rates
- Velocities adjusted to allow roal balance to included Ekman transport



(a) Mass transports (Sv) for the
Global Overturning Circulation