



**“La conectividad atmósfera-océano-tierra y la gestión integral”**

*“Nobleza obliga, sin las Instituciones y vosotros no estaría aquí”*

Señor Rector Magnífico de la Universidad de Córdoba,

Rectora Magnífica de la Universidad de Granada,

Rector Magnífico de la Universidad Autónoma de Madrid.

Sra. Vicerrectora de Posgrado de Innovación Docente, Sra. Secretaria General de la UCO, Autoridades, Claustro de UCO, compañeros de la UCO, UGR y UJA, compañeros del IISTA, Prof. Sánchez Madrid, familia, amigos, señoras y señores, ...

Antes de continuar quiero agradecer al Rector José Carlos Gómez Villamandos por hacer suya y promover esta distinción, y a la Profesora Polo por su iniciativa y por su indulgente laudatio ensalzando mis méritos y callando mis muchos defectos y errores.

Permítanme iniciar esta breve alocución recordando a mi abuelo, maestro en Lúcar, y a mis padres que, con su ejemplo de vida y su vocación de servicio, prendieron en el corazón de mis hermanos y en el mío sus nobles anhelos. Es un orgullo, ojalá estuvieran mis padres aquí, recibir el grado de Doctor Honoris Causa por la Universidad de Córdoba, tierra de Averroes y Maimónides.

Recordaré a cuatro Doctores que me han precedido en el privilegio de pertenecer al Claustro de esta Universidad. Al Profesor Losada Villasante por responder a la pregunta que algunos de ustedes se estarán haciendo: no, no tenemos vinculación familiar, al menos desde el siglo XVII. Durante el último enfriamiento global, entre los siglos XVII y principios del XX, la desigualdad y la pobreza enraizaron en el norte de España y de Europa, y promovieron la migración en todas las direcciones y hacia todos los continentes. Su familia asentó en Carmona; la mía, en Lúcar, cuna de Severo Ochoa, otro ilustre Doctor Honoris Causa por esta Universidad. Ambos son reconocidos pioneros en el campo de la Bioquímica y la Biología y Genética Molecular. Conocí al Dr. Severo Ochoa en Lúcar, un verano de principios de los años sesenta del siglo pasado. Por entonces, yo estaba finalizando el bachillerato y él solía quedar con mi padre a tomar café;



algunas veces, mi padre me decía que le acompañara. Impresionaba tanto su humanidad como su hablar pausado y cuidado. Sus preguntas sobre mi interés por la enseñanza y la investigación me paralizaban y de mi garganta apenas salía un balbuceante, sí, claro, ....

Es obligado citar al Dr. Borlaug, primer Doctor Honoris Causa en el ámbito de la Ingeniería, a propuesta de la ETSIAM. Finalmente recordaré al Profesor Francisco Cerezo, compañero emérito de la UGR, con quien compartí el acto de entrega de los premios Andalucía de Investigación en 2008, él en la modalidad de Humanidades y Ciencias Jurídico-Sociales, yo en la de Ingeniería y Arquitectura. En aquella misma convocatoria el Profesor Enrique Aguilar, añorado catedrático de esta Universidad, lo recibió en la modalidad de Ciencias de la Salud.

[6] Llegué a Andalucía como un joven de 50 años a trabajar por una ingeniería civil avanzada y moderna al servicio de esta región. Era un nuevo reto para mí y también para la UGR: entroncar conocimiento e ingeniería en el ámbito de la gestión de los recursos naturales, suelo, agua y energía. En la Universidad de Cantabria ya percibimos que, para alcanzar ese objetivo, era necesario incorporar a la docencia, la investigación y la transferencia otras disciplinas científicas y tecnológicas relacionadas con el territorio y el ambiente. Enseguida encontré apoyo en la UCO: el Profesor Juan Vicente Giráldez, una referencia internacional, el Profesor José Luis Ayuso, un colaborador excepcional, y la Profesora María José Polo, que fue promotora e impulsora de muchos de los objetivos y las aspiraciones elaborados en común. Con ellos en la UCO, y con otros profesores y grupos de investigación de la UGR y la UMA, formamos un equipo multidisciplinar, transversal, único, que sirvió para vertebrar programas de Máster y Doctorado de excelencia, y la constitución del IISTA, un Instituto Interuniversitario de Investigación dedicado al Sistema Tierra y sus tres anillos con especial énfasis en Andalucía. Gracias a todos ellos y a otros muchos que forman parte de esta fantástica aventura científica.

### *"La generación del oleaje"*

La ribera del mar es la franja que separa los derechos imaginarios del hombre de los dominios reales del mar. Nos da tanto, ..., tanto como lo que le quitamos a ella: ocupamos sus lares, cortamos sus suministros terrestres, cambiamos su forma y su dinámica, siempre con el mismo objetivo: adecuarla a nuestros intereses económicos. Sin embargo, el océano y las marejadas y los temporales son los mismos de siempre. Las olas generadas a centenares o miles de kilómetros se muestran violentas y sobrecogedoras. Las olas generadas por la brisa litoral y rompiendo en la playa nos cautivan con su rítmica percusión, como cualquier movimiento de una sinfonía de Chaikovsky: la misma melodía, pero siempre diferente.



*No es de extrañar, aunque naciera en tierras de Zamora, que León Felipe escribiera ...*

.....

*Turbé tu remanso y en ondas de amor te quebraste*

*como en ondas el agua que duerme se quiebra*

*cuando*

*llega*

*a turbar su remanso dormida*

*la piedra.*

.....

El tema de mi tesis doctoral, defendida en 1976, "Método para la previsión del oleaje direccional", fue la consecuencia de mi pasión por el mar y la atracción por el oleaje. Preguntas de niño que quería responder, ¿dónde y cómo se generan las olas?, ¿cómo llegan hasta aquí?, ¿se pueden predecir? Este empeño juvenil fue la base de mi formación en mecánica de fluidos, estadística e ingeniería, y su aplicación a la incertidumbre y el riesgo. También me ofreció la perspectiva del planeta Tierra como tres anillos entrelazados: atmósfera, océano y litosfera.

Todo lo que ocurre en este Sistema tiene sus causas y la conectividad de los tres anillos transfiere cualquier perturbación que se produzca, independientemente de su origen natural o por la acción del hombre. Digamos que "a la naturaleza no le gustan los gradientes". Así sabemos que el oleaje se genera cuando una corriente de aire fluye sobre una superficie del agua. El viento se genera por los gradientes entre masas de aire contiguas con diferentes propiedades..., las masas de aire se desarrollan y se ubican por ....

La diferencia entre la radiación solar incidente y la emitida y reflejada desde la Tierra induce el enfriamiento polar y el calentamiento de los trópicos. Para compensar esta diferencia se genera una circulación atmosférica (y otra oceánica) que transporta calor desde los trópicos hacia las regiones polares. Próximo al ecuador, el aire cálido y húmedo asciende a la parte alta de la troposfera alimentando lo que se conoce como la celda de "Hadley".



Debido al efecto de la rotación de la Tierra esta circulación compensatoria no supera la latitud de 30-35°. Desde esta latitud hasta la zona polar, al norte del paralelo 60°, en lo que llamamos latitudes medias se mantiene un gradiente meridional de temperatura entre las masas de aire frías y cálidas, que genera vientos de poniente y una corriente de chorro, por encima de los 6000 m de altura. Esta corriente es muy inestable y oscila como los meandros de un río, contribuyendo a la formación y propagación de las borrascas extra-tropicales que determinan, entre otras causas, el mal tiempo y el viento sobre el Océano Atlántico. Ya tenemos viento y superficie de agua.

*"El oleaje se genera cuando una corriente de aire fluye sobre una superficie del agua"; ya, pero ¿cómo la perturba? A principios del siglo XX el boticario León Felipe parece que lo tenía claro:*

*"turbé tu remanso .... como en ondas el agua que duerme se quiebra cuando llega a turbar su remanso dormida la piedra ..."*

El desembarco de los ejércitos aliados por Normandía estaba programado para los primeros días del mes de junio de 1944. El día y la hora definitiva debían decidirse en función de las condiciones de oleaje en las playas de Dunkerque. Al parecer la previsión para el día elegido fue errónea y se tuvo que retrasar el dispositivo un par de días hasta el 6 de junio. Finalizada la guerra, la magnitud del desastre humano, social, económico y ambiental causado, propició un espíritu de colaboración entre países. Se promovieron (algunas de ellas por razones militares) reuniones de trabajo para identificar los retos y las necesidades más importantes en diferentes ámbitos de la ciencia. En 1950, en una de aquellas reuniones dedicada a la física de los fluidos se seleccionó como objetivo científico mejorar la capacidad predictiva del oleaje. El Prof. Phillips en Oxford y el Prof. Miles en California (Scripps) en menos de dos años elaboraron, de forma separada, dos teorías complementarias para explicar los mecanismos que, desde una situación en calma, se activan para "turbar su remanso". Después, en la década de los 70 del siglo pasado, se identificaron los mecanismos subsiguientes, al menos otros cuatro, que se activan hasta alcanzar lo que llamamos el oleaje totalmente desarrollado. Un final tan apoteósico como el Bolero de Ravel.

Phillips resolvió el problema de la generación de las primeras ondas por la presión turbulenta que se propaga con el viento medio y cómo por acoplamiento resonante se seleccionan las direcciones más energéticas. Miles demostró cómo, una vez formadas las ondas, éstas perturban el viento sobre la superficie del agua. Esta perturbación empuja la cara frontal de la



ola y succiona su cara dorsal, provocando su crecimiento. Es un mecanismo de retroalimentación positiva que proporciona un crecimiento exponencial de la energía de las ondas. Las olas se entrecruzan, se superponen y rompen unas a otras, .... cuando alcanzan su pleno desarrollo es como un bolero de Ravel, pero acuático.

Phillips puso matemáticas al poema de León Felipe: "turbé tu remanso ... como el agua que duerme se quiebra ..."

Si bien los mecanismos de Phillips y Miles se reconocen como los iniciadores de la generación, aún quedan varios aspectos que no están bien cuantificados. Nuestro interés por ellos se ha agrandado dadas la relevancia del intercambio de calor y sustancias en la interfaz atmósfera-océano y sus consecuencias en el calentamiento global.

#### *"El paisaje litoral y su transformación integral"*

Tras recorrer centenares, a veces miles, de kilómetros, las olas entran en contacto con las tierras emergidas y esculpen el paisaje litoral, las playas, los acantilados, los deltas y estuarios, y determinan su devenir. Sin duda, lo que más nos llama la atención es cuando la ola rompe o impacta contra la costa. En ese entorno, además de producir y transportar turbulencia, se generan otros movimientos que podemos identificar en la naturaleza y en el laboratorio: corrientes longitudinales y de retorno, rizaduras y barras en el fondo, ... ..

La gestión del hombre de este entorno fascinante no es para sentirse orgulloso. La piedra de sal del poeta León Felipe, se ha transformado en pedradas de hormigón y ladrillo que el calentamiento global obligará a proteger. Aunque en este lenguaje al uso se diga que *tenemos que proteger la costa contra el cambio climático*, en realidad se nos insta a proteger las propiedades del hombre. La costa no necesita protección; ella sabe gestionar por sí sola el calentamiento global y sus consecuencias. Lo lleva haciendo miles, centenares de miles, millones de años, allá donde estuviera ubicada. Claro está, siempre que no le cortemos el suministro de agua y sedimentos procedentes de los ríos y los acantilados, no impidamos la producción biológica en el litoral y no ocupemos su zona de desempeño, los dominios públicos marítimo-terrestre e hidráulico.

La construcción de embalses con fines de abastecimiento, protección de avenidas y regadío ha alterado sustancialmente la dinámica de las cuencas hidrográficas en numerosas regiones mediterráneas, limitando o impidiendo el régimen natural de aporte de agua, sedimentos y nutrientes al mar. Los mismos actores que participan en la generación del oleaje (la circulación



atmosférica y los mecanismos de generación de bajas y altas presiones, frentes, nubes, ...) están detrás de la precipitación y la generación de caudales superficiales y subterráneos, y el transporte de sustancias hacia el mar.

El proto-estudio con el que iniciamos de forma consciente y sistemática una investigación multidisciplinar fue la evaluación de las consecuencias de la construcción de las presas de Béznar en el río Ízbor, tributario del río Guadalfeo, y sobre todo Rules, aguas abajo en el cauce principal del río, a tan solo 20 km de la costa. Esta cuenca drena las aguas de la vertiente oeste y sur de Sierra Nevada y vierte al Mar de Alborán entre Salobreña y Motril en el delta del Guadalfeo, formado por los materiales transportados por el río. Desde su construcción, la línea de costa a ambos lados del delta se está readaptando a la retención de sedimentos en las presas y a la acción de una dinámica marina inalterada, que no cesa. El resultado es la regresión sistémica de todo el perímetro deltaico.

Dos de los muchos retos científicos eran desentrañar el rol de la nieve en los procesos de la cuenca, y la respuesta del delta y la ribera del mar en un escenario de escasez de sedimentos y subida del nivel del mar asociada al calentamiento global. El primer tema fue liderado aquí en Córdoba, el segundo en Granada; entre ambos se tejieron un sinfín de complicidades científicas. Esta manera de abordar los problemas se aplicó a otras cuencas y otras formas costeras, el río Guadalquivir y su estuario, el río Guadalete y su bahía, ...

En contra de lo que se suele argumentar, estas actividades humanas no crean sólo problemas de gestión territorial y ambiental, sino que también afectan, más de lo que se suele admitir, los ámbitos económico y financiero. En unas jornadas sobre el "Papel de la ingeniería en los desastres naturales" celebradas recientemente en la Real Academia de Ingeniería, una empresa internacional dedicada al análisis de seguros mostró que la diferencia entre los costes económicos causados por sucesos extremos y los cubiertos por las primas de seguros es cada vez mayor. En un futuro cercano, llegará un momento en que esta ocupación intensiva del territorio no será asegurable; en otras palabras, no será sostenible ni técnica, ni social, ni ambiental, ni financiera, ni económicamente. Avanzamos a pasos agigantados hacia la no sostenibilidad del planeta Tierra. Lisa y llanamente, ¿no se podrá gestionar! ¿Entonces...?

Desgraciadamente, la reacción, la zona de confort y la burla social son plato de cada día. Las críticas a la Directiva Marco del Agua y a otras directivas y leyes de protección son, además de



ignorantes, suicidas. *Invertir hoy con mirada en el corto plazo será un lastre económico y financiero letal para la Unión Europea y sus ciudadanos.*

*"La sostenibilidad de los recursos y de los bienes"*

En la actualidad, nuestra capacidad de transformar el territorio y destruir los recursos naturales está creciendo exponencialmente; por el contrario, nuestra capacidad para gestionar los bienes con el conocimiento, avanza, en el mejor de los casos, linealmente. El pronóstico a medio plazo (30-50 años) es de no sostenibilidad integral del Sistema Tierra. Para soslayar este pronóstico se necesita una Ingeniería para el ambiente que entienda que el planeta Tierra, la cuenca, el litoral, la ola rompiendo..., forman parte de un conjunto vivo conectado. Estos retos entroncan con un Derecho del ambiente y una Ética de la Ingeniería de alcance universal que incorporen a todos los seres vivos como habitantes del planeta y asumen que la biodiversidad es esencial para mantener la evolución y el porvenir del Sistema Tierra.

*"El postgrado y los Institutos de Investigación"*

Este paradigma demanda replantear la forma de hacer ingeniería y de enseñar a los futuros ingenieros, y se debe apoyar en el conocimiento científico y tecnológico, la formación multidisciplinar e integral, y transferir a las administraciones públicas y a la sociedad para que conozcan y cuantifiquen la importancia y las consecuencias de sus decisiones.

Los Institutos de Investigación multidisciplinarios y transversales son las organizaciones más adecuadas para enfrentarse a estos retos. El IIST<sup>2</sup> es una organización que se concibió con este objetivo. Hoy en día el IIST<sup>2</sup>, con la incorporación de grupos de la Universidad de Jaén, apunta al futuro con el reto de generar conocimiento y métodos y técnicas para la gestión integral de los tres anillos del Sistema Tierra: atmósfera, continentes y océanos. Para llevar a la práctica este conocimiento se necesitan también personas con formación integral y multidisciplinar en estos ámbitos, programas de posgrado específicos. No de forma mayoritaria, sino selectiva.

Déjenme poner un ejemplo de las posibilidades intradisciplinarias de esta investigación: ¿podemos estudiar la interacción de la cubierta vegetal y la atmósfera para determinar los patrones locales de transporte de aerosoles? ¿podemos pronosticar a medio plazo la fecha más probable de floración en cada punto del territorio en función? ¿podemos por tanto añadir



nuevos criterios a los patrones de distribución de cultivos para minimizar el impacto de las alergias al polen de la población?

Preguntas científicas con respuesta solo desde la interacción continua, la mirada múltiple a diversas escalas. Su finalidad, mejorar la gestión, reducir la desigualdad social y evitar el colapso ambiental de la Tierra. La aldea común de todos los seres vivos; no hay otra.

Allá, en algún rincón del universo donde habite nuestro olvido, alguna inteligencia lejana, captará las ondas de nuestra sinrazón y la locura de nuestro desamor, ¡por un puñado de monedas!. Lección aprendida.

¡Muchas gracias!

Miguel Á. Losada Rodríguez

Profesor Emérito de la Universidad de Granada

Córdoba, 26 de marzo de 2019