



MOL

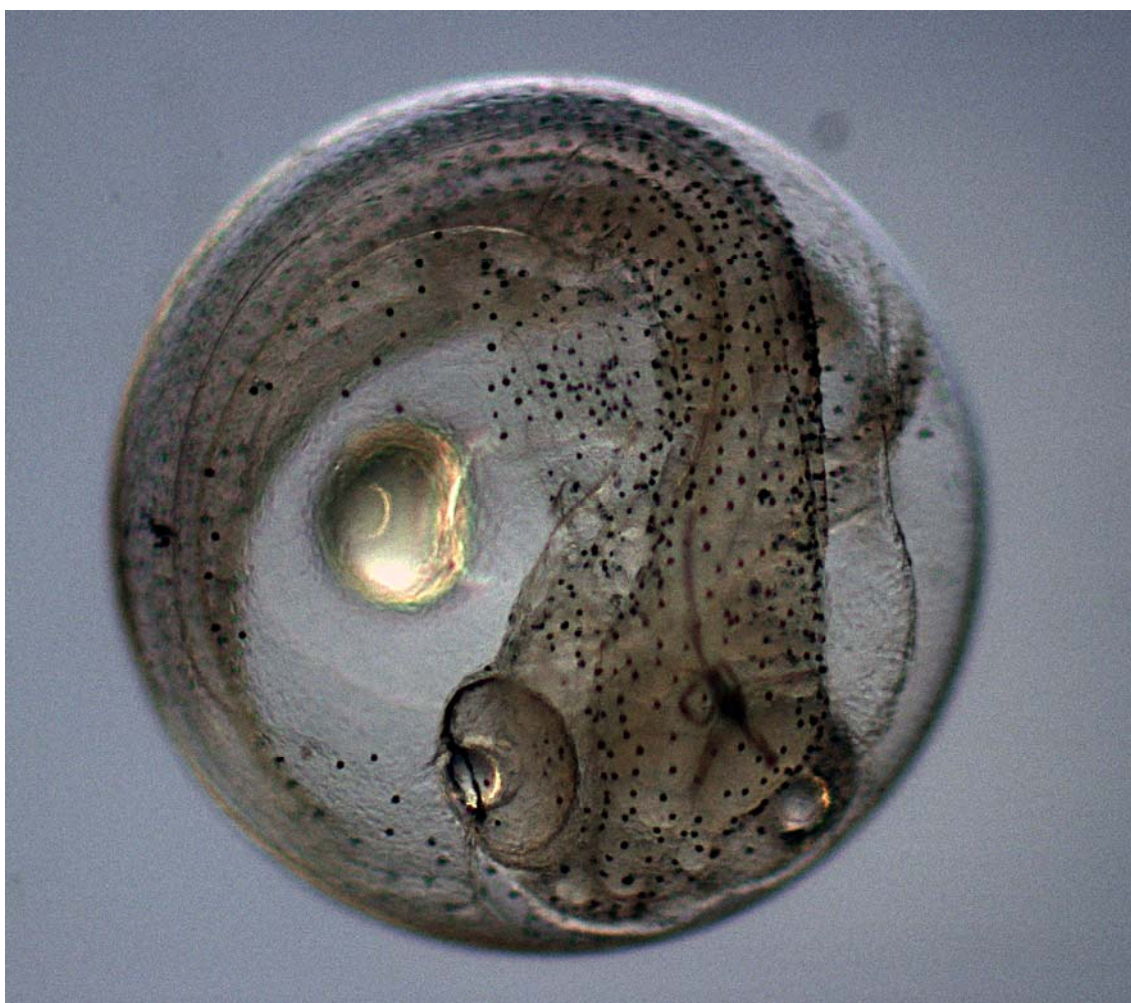
XX Aniversario

XX Anniversary



XXV
Aniversario de la SCG

XXV
SCG Anniversary



SOCIEDAD DE CIENCIAS DE GALICIA
SCIENCE SOCIETY OF GALICIA

Nº 12 • Noviembre - November, 2013

EDITORIAL – EDITORIAL 1

ESTUDIOS – STUDIES (AÑO INTERNACIONAL DE COOPERACIÓN EN LA ESFERA DEL AGUA - INTERNATIONAL YEAR OF WATER COOPERATION)

THE CHALLENGES OF AGRICULTURE IN THE INTERNATIONAL YEAR OF WATER COOPERATION
Antonio M. DE RON; Amando ORDÁS 5

IRRIGATION MANAGEMENT UNDER SALINE CONDITIONS
Alon BEN-GAL; Uri YERMIYAHU; Lynn DUDLEY 8

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA ACUICULTURA
José B. PELETEIRO 33

HÁBITATS PARA LA PUESTA DE CEFALÓPODOS EN EL PARQUE NACIONAL MARÍTIMO TERRESTRE DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA
Ángel GUERRA; Manuel E. GARCI; Jorge HERNÁNDEZ-URCERA; Ángel GONZÁLEZ ... 41

Achiteuthis dux: ÚNICA ESPECIE DE CALAMAR GIGANTE EN EL MUNDO
Ángel GUERRA; Ángel F. GONZÁLEZ; Jorge HERNÁNDEZ-URCERA 46

EL AGUA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO
Antonio M. MARTÍNEZ GRAÑA; José GOY; Caridad ZAZO 54

ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES EN AGUAS RESIDUALES Y BIOFIJACIÓN DE CO₂ MEDIANTE EL CULTIVO DE MICROALGAS
Carla ESCAPA; Ana I. GARCIA 63

BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DEL SALMÓN ATLÁNTICO (*Salmo salar*) Y EL REO O TRUCHA DE MAR (*Salmo trutta*) EN GALICIA
Pablo CABALLERO JAVIERRE 77

ESTUDIOS – STUDIES

LLEGADA DE LA GOLONDRINA (*Hirundo rustica* L.) A PONTEVEDRA
Ignacio S. SANTOS 100

OBSERVATIONS OF THE GD358 NON RADIAL PULSATING WHITE DWARF WITH THE MOLÉTAI ASTRONOMICAL OBSERVATORY 1.65 m TELESCOPE FOR THE WHOLE EARTH TELESCOPE (WET). INTERNSHIP REPORT
Carlos VISCASILLAS 107

HISTORIA CRONOLÓGICA DE LA ASTRONOMÍA EN LITUANIA
Libertas KLIMKA; Vytautas STRAIŽYS; Carlos VISCASILLAS 133

RESEÑAS – REVIEWS

MANAGEMENT OF WATER RESOURCES IN PROTECTED AREAS
Antonio M. MARTÍNEZ GRAÑA 145

MISCELÁNEA – MISCELLANEOUS

PATRIMONIO INMATERIAL: EL REVERSO DE LOS ESPACIOS NATURALES ROTEGIDOS

Gonzalo PUERTO 147

OPINIÓN – OPINION

LA INNOVACIÓN NO ES UNA ACTIVIDAD

Enrique MANDADO 152

EL IDIOMA ESPAÑOL, EL INGLÉS Y LA TECNOLOGÍA

Enrique MANDADO 154

NOTICIAS DE LA SOCIEDAD – SOCIETY NEWS

CONCURSO ESCOLAR DE DIBUJO “LA ENERGÍA” 163

SEMANA DE LA CIENCIA 2012 168

SEMANA DE LA CIENCIA 2013 168

CONCURSO ESCOLAR DE DIBUJO “EL AGUA” 169

NORMAS PARA AUTORES – INSTRUCTIONS FOR AUTHORS 172

COMITÉ EDITORIAL EDITORIAL BOARD

Gonzalo Puerto.
COORDINADOR/COORDINATOR
Antonio M. De Ron
Manuel L. Casalderrey
Miguel García-Limeses
Pedro García-Limeses
José M. Gil
Eladio J. Rodríguez-Gandoy
Rosanna López-Salgueiro
Luis Outeiriño

EDITA PUBLISHER

SOCIEDAD DE CIENCIAS DE GALICIA –
SCIENCE SOCIETY OF GALICIA (SCG)
García Camba 3, 6A. 36001 Pontevedra.
España / Spain
Correo-e/E-mail: info@scg.org.es
Internet: <http://scg.org.es>
Maquetación y diseño/Design: SCG
ISSN: 1133-3669

Portada: embrión de Pez de San Pedro, *Zeus faber* (Linnaeus, 1758). Fotografía de
Camilo Saavedra, Centro Oceanográfico de Vigo, Instituto Español de Oceanografía.
Cover page: dory embryo, *Zeus faber* (Linnaeus, 1758). Picture by **Camilo Saavedra**,
Oceanographic Center of Vigo, Spanish Institute of Oceanography.

EDITORIAL



En 1993 la Asamblea General de Naciones Unidas adoptó mediante la resolución A/RES/47/93 el compromiso de celebrar todos los días 22 de Marzo de cada año el “Día Mundial del Agua”, y el 11 de febrero de 2011, en su Resolución A/RES/65/154, decidió proclamar el año 2013 como “Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua”.

Con ello se ha procurado constatar “que la comunidad internacional reconoce la importancia del uso y la gestión pacífica y sostenible de los recursos hídricos, fomentando oportunidades de cooperación en la gestión del agua y mejorando la comprensión de los desafíos y beneficios de la cooperación a fin de crear confianza y respeto mutuo entre los usuarios del agua”. Asimismo, y en sus palabras, también “contribuyendo a promover la paz, la seguridad y el crecimiento económico sostenible”.

La Resolución también resalta que “la importancia de la cooperación en materia de agua se basa en el hecho de que el agua es un tema transversal que requiere atención en todos los niveles y sectores. La cooperación en materia de agua es la piedra angular para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio establecidos por la ONU y garantizar la “seguridad hídrica” y un futuro sostenible. En consecuencia, el Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua 2013 insta a los líderes a poner el tema del agua en el centro de las agendas, teniéndola como una base para establecer vínculos más fuertes entre las Naciones, los Estados y las Comunidades”.

No es necesario citar aquí los beneficios del agua para la Tierra y sus habitantes. Sobre todo, del agua potable. En muchos casos es este un bien escaso, lo que lleva a que su correcta gestión sea un reto y al mismo tiempo una evidente necesidad. Por poner un ejemplo, la agricultura, de la que dependen millones de personas, consume casi el 75% del agua potable disponible, por lo que con una población creciente la gestión de este recurso es fundamental. Claro ejemplo es el cultivo de arrozales, fuente de alimentación básica en muchos territorios.

No se trata, pues, tan sólo de un elemento de mejora de calidad de vida, sino de supervivencia en algunos lugares. Y parece que este va a ser un problema creciente si no se adoptan medidas al respecto, basadas siempre en la concienciación colectiva.

Por otra parte, no sólo la relación entre consumo de agua y agricultura es preocupante, sino también la existencia en sí de masas de agua, dulce o no, que puedan ser aprovechadas sin detrimento de su calidad. A tal efecto cabe señalar la importancia que tienen para la alimentación de muchas zonas del planeta las aguas lacustres, de estuario e intermareales, que soportan una gran cantidad de pesca. Según datos de la Convención de Ramsar para las zonas

húmedas, las dos terceras partes de los peces comestibles dependen, en algún estado de su ciclo vital, de los humedales costeros.

En este año 2013 la Sociedad de Ciencias de Galicia celebra el XXV Aniversario de su fundación, y esta publicación XX años de la edición de su número 1. Por ello, y recogiendo la inquietud global sobre los problemas del agua, la Sociedad ha querido responder a esta llamada de una manera prioritaria en sus actividades previstas para este año. Por una parte, celebrando en el próximo otoño su Semana de la Ciencia con un enfoque especial sobre el agua, e implicando en ello, como siempre, a los garantes de la buena gestión del futuro, los que hoy son escolares. Por otro lado, buscando que el presente número de MOL recoja también este tema desde un punto más científico, pues la Ciencia y la Tecnología son garantes de resolución de los problemas de gestión que se plantean ante este problema.

EDITORIAL



In 1993 the United Nations General Assembly adopted by the Resolution A/RES/47/93 to celebrate every March 22 the “World Water Day”, and in February 11, 2011, in its Resolution A / RES/65/154, decided to proclaim 2013 as the “United Nations International Year of Water Cooperation”.

This has sought to prove "that the international community recognizes the importance of the use and peaceful and sustainable management of water resources, fostering opportunities for cooperation in water management and improving the understanding of the challenges and benefits of cooperation to build trust and mutual respect among water users". Likewise, in its words, also "helping to promote peace, security and sustainable economic growth".

The Resolution also notes that "the importance of cooperation on water is based on the fact that water is a cross-cutting issue that requires attention at all levels and sectors. The water cooperation is the cornerstone for achieving the Millennium Development Goals set by the United Nations and ensures "water security" and a sustainable future. Consequently, the International Year of Water Cooperation urges leaders to put the issue of water in the center of the agenda, having it as a base for stronger links between nations, states and communities.

It is not necessary to mention here the benefits of water for the Earth and its inhabitants. Above all, the drinking water. In many cases this is a scarce; leading to proper management is a challenge and also a clear need. For instance, agriculture, which depend million people, consumes almost 75% of potable water available, so with a growing population the management of this resource is critical. A clear example is the cultivation of rice, basic food source in many territories.

It is not therefore just an element of improving quality of life, but of survival in some places. And it seems that this will be a growing problem if not acted upon, always based on collective awareness.

Moreover, not only the relationship between water consumption and agriculture is worrying, but also the actual existence of water, sweet or not, that can be exploited without compromising its quality. To this end it is worth noting the importance for food in many parts of the world the lake waters, estuarine and intertidal, which bear a large amount of fishing. According to the Ramsar Convention for wetlands, two thirds of edible fish depend, at some stage of their life cycle, of coastal wetlands.

In this year 2013 the Science Society of Galicia celebrates the XXV anniversary of its foundation, and this publication the XX anniversary of the publication of the issue number 1. Therefore, the Society has prioritized the water in the activities planned for this year. On the

one hand, by means of the Science Week with a special focus on water, and involving it, as always, to the guarantors of good management of the future, those who are now young students. On the other hand, by the present number of MOL that also focuses this topic from a scientific point, since Science and Technology are the guarantors for solving problems that arise with the water management problems.

THE CHALLENGES OF AGRICULTURE IN THE INTERNATIONAL YEAR OF WATER COOPERATION

Antonio M. DE RON; Amando ORDÁS

Misión Biológica de Galicia (MBG). Spanish National Research Council (Consejo Superior de Investigaciones Científicas-CSIC). Pontevedra. Spain

In December 2010, the United Nations General Assembly declared 2013 as the United Nations International Year of Water Cooperation. The objective of this International Year is to raise awareness, both on the potential for increased cooperation, and on the challenges facing water management in light of the increase in demand for water access, allocation and services. The Year will highlight the history of successful water cooperation initiatives, as well as identify burning issues on water education, water diplomacy, trans boundary water management, financing cooperation, national / international legal frameworks, and the linkages with the Millennium Development Goals. It also will provide an opportunity to capitalize on the momentum created at the United Nations Conference on Sustainable Development, and to support the formulation of new objectives that will contribute towards developing water resources that are truly sustainable.

Water is, indeed, an aspect of great relevance for agriculture. Plant sciences are more than ever at the centre of major challenges to global societies. Scarcity of resources is becoming increasingly evident in the last years. Water availability is already a major limitation on agricultural production in some regions of the world and it is expected to become even more severe with the increase in intensified agriculture, together with developing issues of water quality, and as a result of modified rainfall patterns due to the climate change.

Factors affecting yield reliability of agricultural crops vary across agrosystems, but water availability is among the most common factors, since many commercial crop varieties are particularly sensitive to low or fluctuating water availability. Reduced tillage is known to increase soil water retention (particularly early in season); in addition, through conservation of soil organic matter, reduced tillage can indirectly increase soil water content and buffer against fluctuations. A relevant goal of agricultural practices is the optimization of the use of water resources, aiming to reduce energy inputs to agrosystems looking for their sustainability.

Sustainability will imply there is a need for reducing the costs for farmers. One the one hand is the problem of the wide use of N-fertilizers which increase the cost of production and affect the environment due to the emission of greenhouse gas (NxO). By the other hand the agricultural production should be based in small-medium farms with low inputs and environmentally friendly (together with large-scale farms) with an efficient use of local adapted plant genetic resources, that will request less water intake. There is a need for a wide

use of the local germplasm in small-medium scale. This adapted germplasm is well adapted to its agro-ecological conditions and will need reduced inputs and the use of local resources will reduce transport costs and pollution.

There is a need to empower the rural areas that could be achieved by the enhancement of small-medium farms that will shape an added value network of food supply based on sustainable agrosystems. This means also to develop opportunities for the rural communities by strengthening the capacity of small-medium farms for primary production and delivery of eco-systems services, and opening avenues for the production of new and diversified and safe high quality food products, including those requested by processors and the restaurant industry.

As far as crop production is concerned, water is very likely the most limiting factor. We should not forget that photosynthesis is the process used by autotroph organisms like plants to utilize light (a kind of energy) to form carbohydrates (a chemical energy), which are synthesized from carbon dioxide and water. So, without water there are no plants and without plants there is no animal life.

In the particular case of our country and from the standpoint of natural water availability, Spain is usually divided into two great regions: Humid Spain and Dry Spain. The first region comprises the North and Northwest of the country, i.e. Galicia and the Cantabric communities (Asturias, Cantabria and the Basque Country), while the second is formed by the rest of peninsular Spain as well as the Balearic and Canary Islands.

From what has been said above it seems at first sight that agriculture needs irrigation in Dry Spain to be successful, while that is not the case in Humid Spain. This is not completely true because of the irregular distribution of rainfall in the latter. In general, most rainfall in Humid Spain falls from autumn to spring, with a minimum in summer, precisely the season when crops needs most water. This problem is especially serious in the South of Galicia. Data from the Misión Biológica de Galicia (Sánchez, 1986) show that the average rainfall in Pontevedra (average from 35 years) is 1,657 mm, with a great variation from a minimum of 961 mm up to a maximum of 2.596 mm. But the averages for July and August are only 26 and 48 mm, respectively, with years in which it does not rain absolutely nothing in June or July or practically nothing in August.

What can be done to overcome that problem? Two measures are possible. First, a rational net of cisterns and/or dams to store water during the winter months. Second, to establish programs of plant breeding to obtain varieties more tolerant to drought. Or, in other words, to obtain plants that use water more efficiently.

Genetics has revolutionize agriculture in many areas of the world developing plants better adapted to short supplies of water and nutrients. Plant breeders have two basic approaches for breeding for drought resistance: indirect breeding and direct breeding. Under indirect breeding, breeders expose genotypes to an environmental stress, even though they are not being directly evaluated for environmental stress. For direct selection for drought there are several methods that can be used: field selection, selection under managed stress environments, selection based on yield *per se*, selection based on development traits... (Acquaah, 2007). A common strategy is to breed for earlier genotypes hoping that flowering will occur before drought stress.

In conclusion, the challenges of agriculture in the international year of water cooperation involve the rational use of water resources, including in areas considered as wetlands, as those mentioned in Spain, and especially in arid areas with subsistence farming.

References

- Acquaah G. 2007. Principles of plant genetics and breeding. Blackwell Publishing.
- Sánchez B. 1986. El clima de Pontevedra. pp. 61–86. In B. Sánchez (ed.) Estudio agrobiológico de la provincia de Pontevedra. Fundación Pedro Barrie de la Maza - Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Pontevedra, Spain.

IRRIGATION MANAGEMENT UNDER SALINE CONDITIONS

Alon BEN-GAL¹; Uri YERMIYAHU¹; Lynn DUDLEY²†

¹Agricultural Research Organization, Institute of Soil Water and Environmental Sciences, Gilat Research Center. Israel.

²Department of Geological Science. Florida State University, Tallahassee, FL. USA.

Abstract

Commercial agriculture in the world's arid regions must rely on irrigation. Soils and water in these drylands are typically characterized by high salinity. Maximization of crop yields when irrigation water is high in concentrated salts depends on providing plant transpiration needs and evaporative losses as well as on maintaining minimum soil-solution salinity through leaching. Traditional approaches to the calculation of leaching requirements ignore feed-back mechanisms related to plant response and also fail to consider soil type and climate. A new approach, made possible through mathematical simulation, demonstrates that there is a minimum leaching fraction capable of being reached with any actual water quality and irrigation regime scenario that is a function of specific soil properties, crop type and climate. This review introduces fundamental concepts of the soil-water-crop-atmosphere continuum in regards to salinity and investigates management options for maximizing yields and promoting water use efficiency in irrigated drylands. The environmental cost of yield maximization in arid agriculture under conditions of salinity and possible approaches to water and salinity management to help promote arid zone agricultural sustainability are discussed. Salinity management can use strategies of water reduction, salt collection and disposal, or reduction of source-water salinity. Policies of providing agriculture with marginal water contaminated with salts and nutrients appear to be highly non-sustainable. Better sustainability may well be attained by providing agriculture with the highest qualities of water, thus promoting optimal productivity with minimal environmental consequences.

Resumen

La agricultura comercial en las regiones áridas del mundo debe basarse en el riego. Los suelos y el agua en estas zonas áridas se caracterizan por su alta salinidad. La maximización del rendimiento de los cultivos, cuando el agua de riego tiene concentración elevada de sales, depende de las necesidades de transpiración de las plantas y las pérdidas por evaporación, así como en el mantenimiento mínimo de la salinidad del suelo a través de lixiviación. Los enfoques tradicionales para el cálculo de los requerimientos de lixiviación ignoran los mecanismos de retroalimentación relacionados con la respuesta de la planta y no tienen en cuenta el tipo de suelo y clima. Un nuevo enfoque, hecho posible a través de simulación matemática, demuestra que hay una fracción mínima de lixiviación capaz alcanzarse con cualquier calidad de agua y en distintos escenarios de riego, en función de las propiedades específicas del suelo, tipo de cultivo y el clima. Esta revisión introduce los conceptos fundamentales del sistema suelo-agua-planta-atmósfera en lo que respecta a la salinidad e investiga opciones de gestión para maximizar los rendimientos y la eficiencia del uso del agua de riego en zonas áridas. Se discute el coste ambiental de la maximización del rendimiento en la agricultura en zonas áridas, en condiciones de salinidad, y posibles enfoques para la gestión del agua para promover la sostenibilidad de la agricultura en dichas zonas áridas. La gestión del problema de la salinidad puede utilizar estrategias de reducción de agua, recogida y eliminación de sal, o la reducción de la salinidad de las fuentes del agua de riego. Las

políticas agrícolas de uso de agua marginal contaminada con sales y nutrientes no parecen ser sostenibles. La mejor sostenibilidad puede lograrse proporcionando a la agricultura con la más alta calidad de agua, promoviendo así una productividad óptima con consecuencias ambientales mínimas.

Introduction

In efforts to provide food and fiber to a growing and developing world, agriculture is challenged to increase productivity. Moving water into arid regions and the introduction of irrigated agriculture constitute a key element in any strategy for increased global production. Arid regions offer large undeveloped spaces and a climate conducive to plant growth and can provide high yielding cultivation on condition that water is available. The sustainability of arid zone agriculture is questionable and faced with combined challenges of development and protection of water resources, managing salinity and creating long-term economically and environmentally sound operations.

A consequence of irrigation is the concentration of salts in the root zone. Excess irrigation is required periodically to remove accumulated salts and maintain agricultural productivity. Where drainage is inadequate, the excess irrigation results in waterlogging that accelerates salinization. Consequences of such practice are evident world wide. The FAO (2002) estimates the productivity of approximately 20–30 million irrigated hectares has been significantly decreased by salinity, and that salinization results in the loss of an additional 0.25–0.5 million hectares each year globally. In 1990, 1.4 million hectares of irrigated California land were assessed as having a water table within 1.5 meters of the surface and 1.7 million hectares were determined to be saline or sodic (Tanji, 1990). Recent work involving regional scale hydro-salinity modelling questions the sustainability of irrigated agriculture in the San Joaquin Valley, California due to inevitable salinization of soil and groundwater (Schoups et al., 2005). Approximately 8.8 million hectares in Western Australia are threatened by rising water tables and may be lost to production by 2050 (NLWRA, 2001).

Despite installation of extensive drainage systems and groundwater management in recent years, some 25 percent (more than 5 million hectares) of the Indus River basin of Pakistan is still estimated to be affected by salinity and waterlogging (Tanji and Keilen, 2002). The challenge for water management is to maximize productivity under market and environmental constraints including protection of soil and water resources. Meeting this challenge, especially in the arid zones where irrigated agriculture using low-quality water is quickly expanding, requires a quantitative understanding of not only the effects of water supply but the deleterious effects of salts and potentially toxic constituents of water.

In this review we address the issue of salinity in irrigated agriculture in the arid zones. Concentration is on understanding salinity and crop growth in terms of the soil-plant-atmosphere continuum and on discussion of the sustainability of irrigation with saline water in arid agriculture.

Soil and irrigation water quality in arid zones

Arid zones can be defined by “the Aridity Index” (AI) introduced by Thornthwaite (1948) as a ratio relating annual precipitation (P) to potential evapotranspiration (ET_p), the amount of water lost from non-water-limited soil by plant transpiration and direct evaporation from the ground. The United Nations Environment Programme (UNEP) index Eq. [1]

$$AI = \frac{P}{ET_p} \quad [1]$$

defines regions as “arid” if the AI is less than 0.2 and “hyperarid” if it is less than 0.05 (UNEP, 1992). Accordingly, UNEP estimates that some 10 million km² or 7.5% of global land area is hyperarid, while some 16.2 million or 12.1% can be classified as arid. Generally, precipitation does not exceed 300 mm/year in these arid zones. In semi-arid zones, where rainfall can reach 500 mm/year, the AI is between 0.20 and 0.50.

Table 1. Legend for Soil Map of Israel presented in figure 1. (Source: <http://cals.arizona.edu/OALS/soils/israel/legend.html>).

Soil name (after Dan et al. 1977)	CODE
Terra rossas, brown rendzinas and pale rendzinas	a
Brown rendzinas and pale rendzinas	b
Pale rendzinas	c
Basaltic protogrumusols, basaltic brown grumusols and pale rendzinas	d
Hamra soils	e
Basaltic brown mediterranean soils and basaltic lithosols	f
Hydromorphic and gley soils	g
Grumusols	h
Pararendzinas	j
Dark brown soils	k
Calcareous serozems	l
Brown lithosols and loessial arid brown soils	m
Loessial arid brown soils	n
Alluvial arid brown soils	p
Solonchaks	q
Loessial serozems	r
Brown lithosols and loessial serozems	s
Sandy regosols and arid brown soils	t
Sand dunes	v
Regosols	w
Bare rocks and desert lithosols	x
Reg soils and coarse desert alluvium	y
Fine grained desert alluvial soils	z

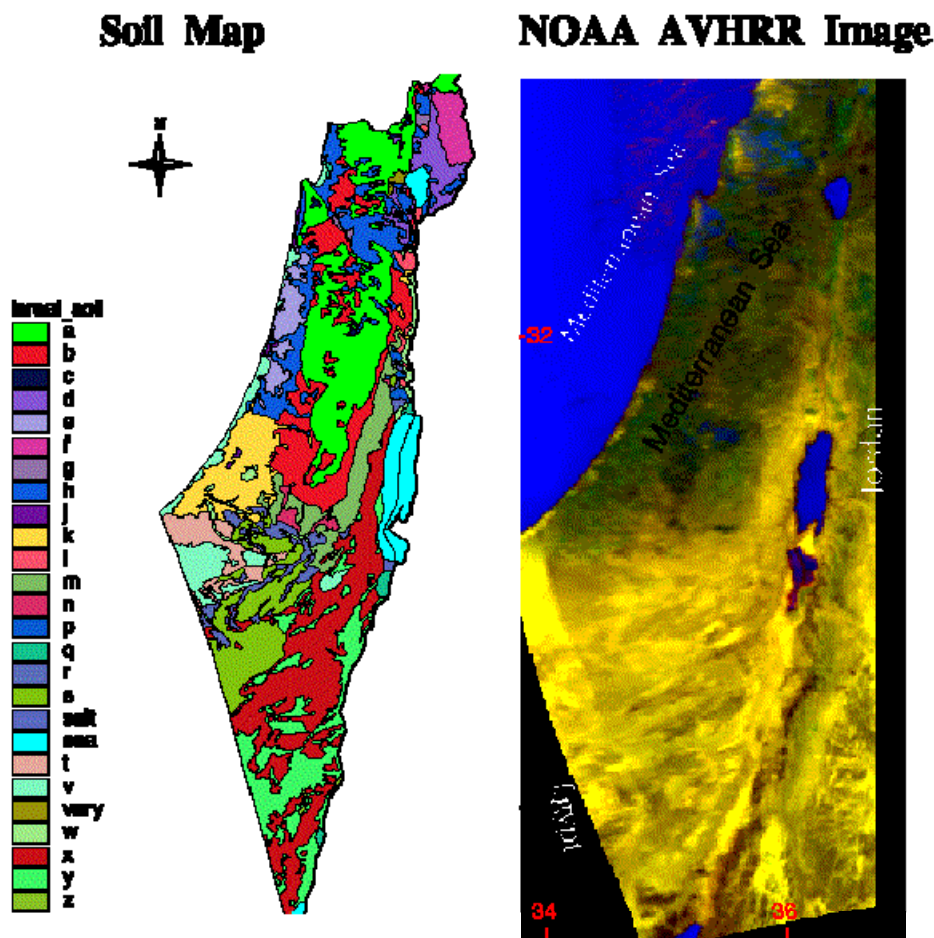


Figure 1. Map of soils and satellite image of Israel. Descriptions of the letter-coded soil types are presented in Table 1. The soil map was prepared by the Ministry of Agriculture and Rural Development of Israel, Soil Conservation and Drainage Department (Dan et al., 1977). The satellite image was provided by Professor. Arnon Karnieli, The Remote Sensing Laboratory, Ben-Gurion University, Sde-Boker Campus, Israel. (Source: <http://cals.arizona.edu/OALS/soils/israel/soilmap.html>).

The harsh climate in arid regions gives rise to agricultural conditions that are fundamentally different than those in less dry regions, including semi-arid areas. Typically, commercial agriculture in arid regions must rely on irrigation, and soils in these regions are characterized by high salinity and low organic matter content (Balba, 1995). A soil map together with a satellite image of the country (Fig 1) illustrate how Israel is divided into a semi-arid climate with associated soils in the north and arid climate and typical desert soils and landforms in the south (Table 1). The soil map is based on the classification of Israeli soils by Dan et al. (1977). The satellite image is a georeferenced image from NOAA AVHRR sensors taken during winter. False colors were used to enhance vegetation (dark) with respect to the desert (yellow) areas, which makes it apparent that about half of the country is under arid conditions. Salinity of soil and water results from geochemical processes wherein soluble salts, originating from weathering of minerals and rocks, move into groundwater and from there to

streams, lakes and oceans. The level of salinity at any particular place at any given point in time is a function of the amount of water that has passed through each point of the hydrologic cycle. In regions of substantial rainfall, most salts are transported into oceans or to deep groundwater. In arid environments, the salts are likely to remain in the top soil. Irrigation water imports and transports dissolved mineral salts. Mineral ions in irrigation water include nutrients, often added by growers as fertilizers in advanced irrigation systems, as well as undesirable salts. In arid regions, large amounts of otherwise innocuous minerals located naturally in the soil and in underlying substrata can be mobilized as intensive water application is practiced (Smedema and Shiati, 2002). Examples of natural soil-born salts that have become problematic in irrigated arid soils and in their drainage waters include boron and selenium in addition to residual calcium and sodium chloride and sulfate salts.

Soil-salt problems in agriculture are often categorized into three types (Hoffman, 1986; Bar Yosef, 1999): salinity, sodicity and toxicity. Salinity refers to the total concentration of dissolved salts in soil solution or water and to the evolution of osmotic stress. Sodicity is the presence of excess Na, which is responsible for deterioration of soil structure and subsequent impairment of water penetration into and through the soil. Toxicity refers to specific ions of salts, including Na, Cl and B, which, when absorbed by plants, and accumulate in plant tissues cause toxic physiological reactions.

Conditions of salinity occur when the salts left by transpiration are not sufficiently removed from the root zone. This can occur in lowlands or depressions where water accumulates without draining, and is also typical of areas with restricted soil drainage and high water tables. In arid environments, salts that accumulated prior to agriculture combine with salts introduced with irrigation water to create particularly saline conditions. Soils in these regions can be saline, sodic, or both. To reclaim these soils for agricultural use, the salts must be removed from the agricultural root zone through the process of leaching. Sometimes, artificial drainage is required when natural drainage does not permit the water table to be maintained at a depth sufficient to facilitate removal of the salts to adequately low concentrations.

Salinity, sodicity and toxicity must be quantified for proper diagnosis and management. Irrigation water, shallow groundwater, and soils must be sampled and analyzed for salinity to determine which management practices are required to minimize or eliminate salinity hazards. Various units of measure are used to quantify salinity. Salt concentration (C) from laboratory analyses is frequently labeled as total dissolved solids (TDS) and reported as milligrams of salt per liter of water (mg/l). Salinity, the total salt concentration, is the sum of the concentrations of each salt constituent. A simple method for quantifying salinity is to measure the electrical conductivity (EC) of irrigation water (EC_{iw}) or water extracted from a saturated soil sample (EC_e). EC is reported in units of millimhos per centimeter (mmhos/cm) or deciSiemens per meter (dS/m), which are numerically the same. Total soluble salt is a non-linear function of EC (Marion and Babcock, 1976) but for the sake of simplicity, a rule of thumb relationship:

$$C \approx 640 EC \quad [2]$$

where the units of C and EC are mg/l and dS/m respectively, can be applied.

Plants take up water and mineral ions selectively and because plants transpire only water (H_2O), most of the undesired, soluble salts are left in the soil (Bernstein, 1975).

Accumulation of these salts creates a disadvantageous environment for plant growth. Root-zone salinity is often described as behaving in a manner identical to drought. Both the decrease in water and the increase in solute concentration in the soil cause a decrease in the potential energy of the soil solution. Water flows from high to low potential along a gradient within the soil-plant-atmosphere continuum and, thus, decreased potential of the solution in the root zone causes a reduction in this potential gradient and hampers flow of water from the soil to the plant (Gardner, 1991). The greater the water requirement of the crop, the greater the absolute amount of salts left in the soil following uptake. In hot, dry, arid regions atmospheric demand for ETp can be double or more that of more humid zones. When compounded by naturally saline soils and by available irrigation water with high concentrations of salts, the issues of salinity become profound. A schematic illustration of water and salt balance in an irrigated crop is presented in Figure 2.

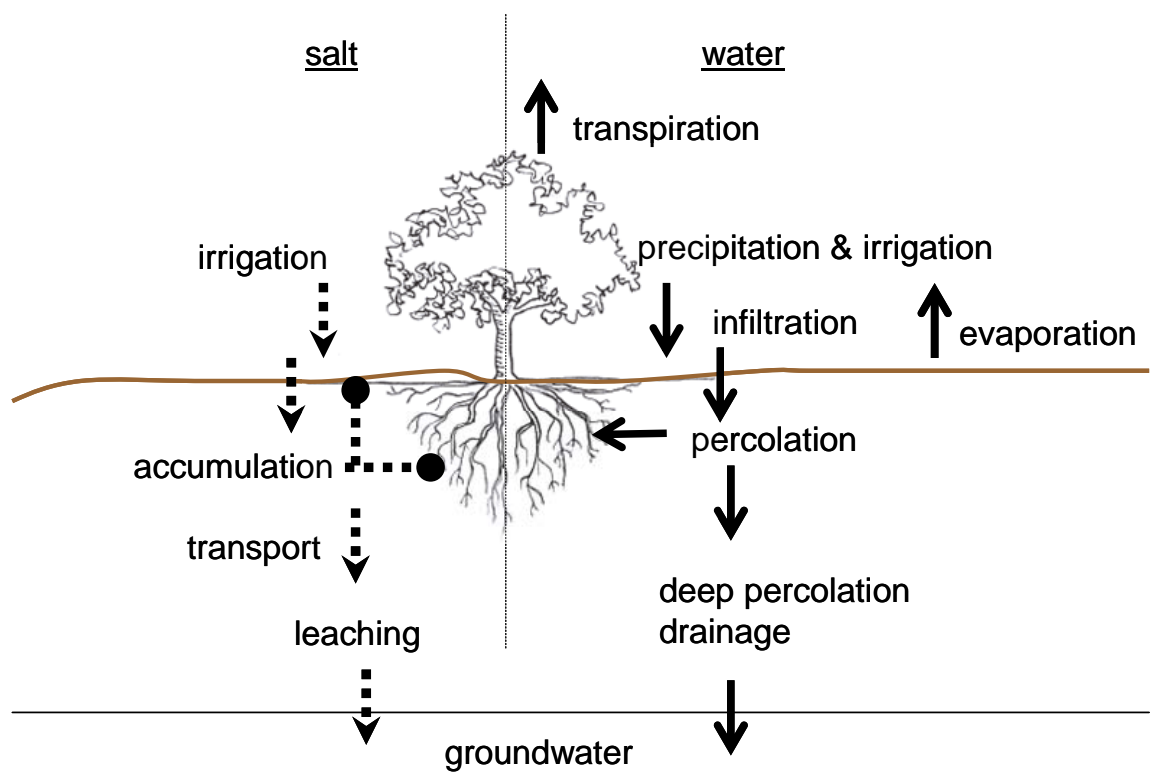


Figure 2. Schematic of water and salt balance in an irrigated crop. Solid arrows represent water movement and dashed arrows, salts.

Salinity and agricultural soil-crop-water systems

Plants respond to the actual environmental conditions in which they grow. Response to salinity is dependent upon all the variables influencing the root environment, uptake by the plant, and physiological behavior. These variables include: ion composition and concentration in soil solution, crop type, cultivar and growth stage, climate, and length of exposure. The composition and concentration of the soluble salts in soil solution are known to directly influence plant growth, both by creating osmotic imbalance and via specific physiological toxicity of ions and indirectly through changes in soil physical-chemical properties.

Osmotic stress lowers the potential energy of the solution and causes reduced crop growth and yield, due to the additional energy required by plants to take up water. While increasing the salinity of the soil solution decreases its osmotic potential, drying of the soil both decreases the matric potential and decreases the solution's osmotic potential as ions are concentrated. The interactions between the soil environment and plant response regarding increased potential gradients and specific ion concentrations, uptake and toxicity are therefore complicated and extremely difficult to quantify.

The relationship between general osmotic and specific ion effects differs from crop to crop and is a function of the specific ions involved. Separation of the effects is not simple and may well be impossible. Ben-Gal et al. (2009) demonstrated the importance of recognizing osmotic potential (instead of solute concentration or the indicator, electrical conductivity) for plant response studies of salinity. (Shani and Ben-Gal (2005) showed both short-term, osmotic consequences of salinity on transpiration and long-term toxicity leading to reduced yields and mortality in a study on the effects of irrigation water salinity on grapevines (*Vitis vinifera*). In Figure 3 differences measured between EC 1 and 3 dS/m in vegetative biomass were explained by osmotic potential gradients and reduced water uptake, witnessed immediately upon the outset of vine exposure to saline conditions. Increased EC above EC = 3 dS/m lead to toxic effects, which were accompanied by Na and Cl ion accumulation in leaves and disruption of physiological processes.

To correctly evaluate effects of salinity on plants, we must first differentiate between low concentrations of salts that may well be beneficial to plant growth, even though they reduce osmotic potential, and excessive concentrations that have harmful effects. A (relatively) simple demonstration of some of the interacting osmotic and toxic effects is found with NaCl. Low levels (actual concentrations are species specific) of Na are beneficial and Cl is essential to plant health (Marschner, 1995). However, concentrations of Na and Cl in soil solution are often above those necessary to provide the beneficial amounts and, therefore, both reduction of osmotic potential (leading to reduced water uptake) and excess ion levels (leading to toxicity) are likely to occur (Bernstein, 1975).

Plant response time for osmotic effects is rapid (seconds to minutes). Toxic responses can be rapid as well, especially in cases where the mechanism for toxicity occurs in the roots, but responses due to toxic effects often materialize only following accumulation in shoots – a process taking much more time (days to months) (Munns, 2002). Sensitivity to Cl and Na ions is also crop-specific, with individual crops showing sensitivity to either or both Na and Cl (Bernstein, 1975).

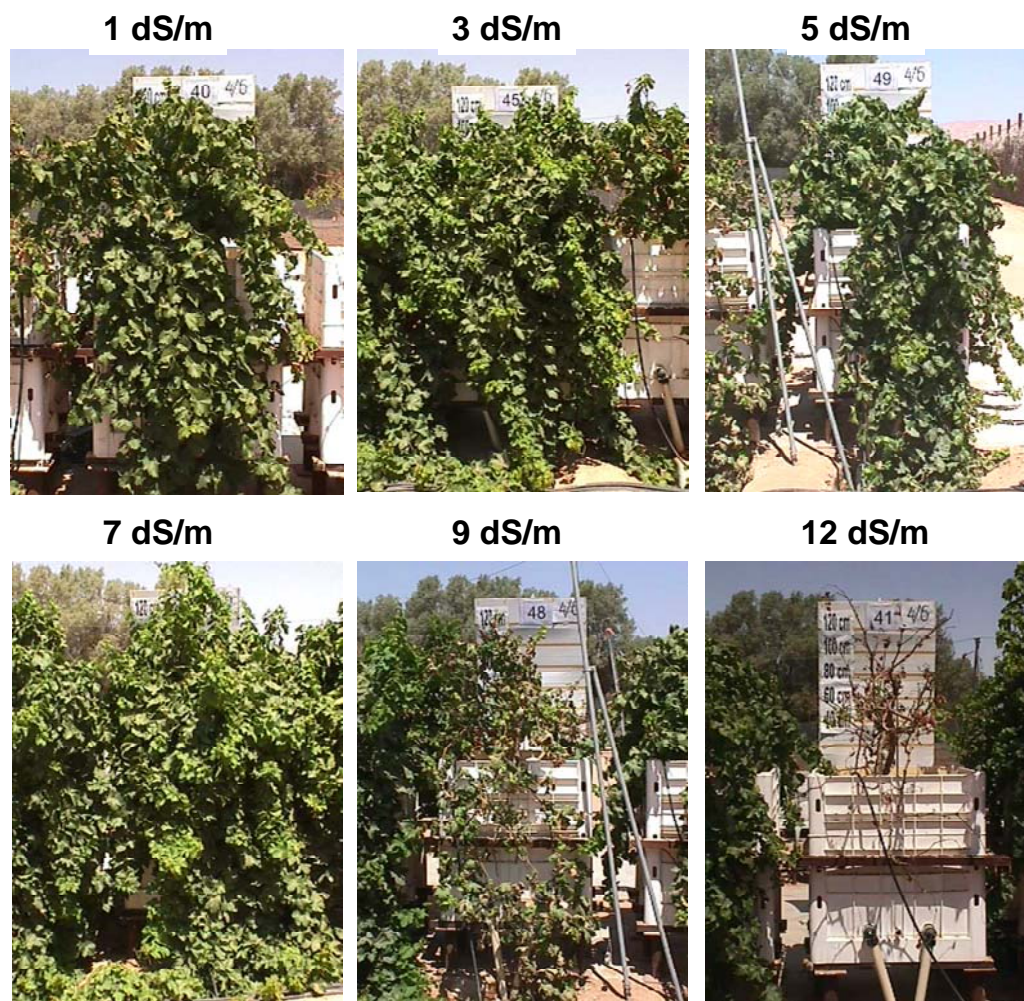


Figure 3. Grapevines growing in lysimeters after six months of irrigation with 6 salinity levels increasing from electrical conductivity (EC) 1 to 12 dS/m (Shani and Ben-Gal, 2005).

A further demonstration of conflicts between osmotic and toxic repercussions of salinity are found in the presence of additional salts that may actually lead to positive effects on plant growth even as they exacerbate problematic osmotic gradients. Examples of this are found regarding the presence of NO_3 and Ca together with NaCl. It is sometimes possible to ameliorate Cl toxicity by increasing the NO_3 concentration in the soil solution (Xu et al., 2000), despite the fact that increased NO_3 further reduces osmotic potential. Adding Ca to solution confounds osmotic effects by further lowering osmotic potential, but added Ca was seen experimentally (Fig. 4) to relieve ionic Na toxicity and increase root elongation. Yermiyahu et al. (1997) used osmotic potential decreases due to increased mannitol in solution to create osmotic effects without specific ion toxicity. The effect of mannitol based osmotic potentials on root growth was compared to effects of osmotic potentials caused by different NaCl to CaCl_2 concentration ratios. As osmotic potential became more of a function of Ca compared to Na in solution, the apparent toxic effects of Na were reduced and the response curve of root elongation approached that caused by mannitol (Figure 4). In addition to the direct effects of salinity on plants, indirect effects are caused through changes in soil physical-chemical properties. Examples of possible indirect consequences of salinity are loss

of soil structure and reduced infiltration (Shainberg and Letey, 1984; Ben-Hur et al., 1998) and aeration (Bethune and Batey, 2001), changes in redox potential (Qadir and Schubert, 2002), and changes in adsorption properties regarding specific ions, including B (Yermiyahu et al., 1988).

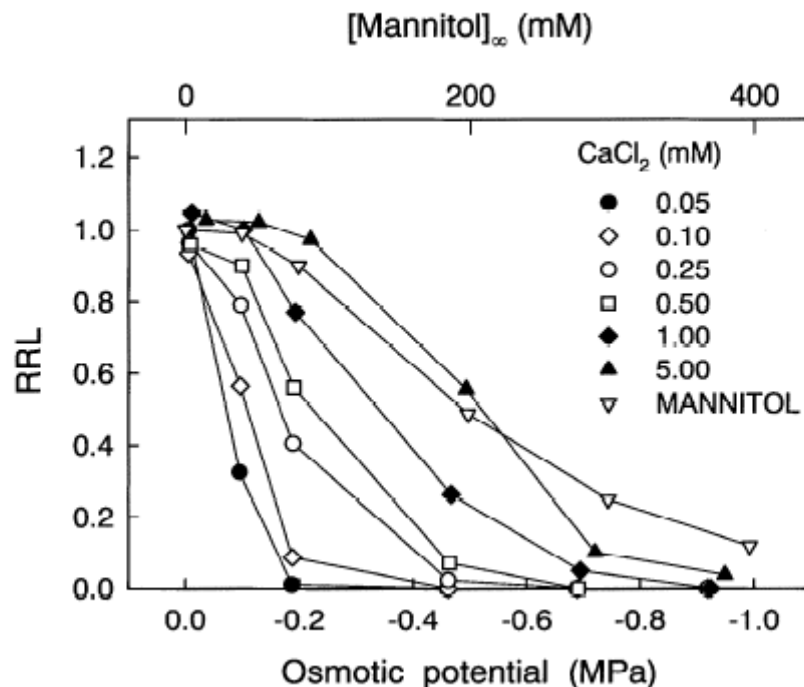


Figure 4. Relative root elongation (RRL) of melon as a function of osmotic potential of growing solutions containing different combinations of NaCl and CaCl₂ or mannitol (Source: Yermiyahu et al., 1997).

The major source of salts in agricultural systems is irrigation water. Salinity is not usually a problem where rainfall or other low-salinity water is the major water source for crop production, and where drainage is not restricted. As long as the amount of low-salinity water surpasses soil storage and evapotranspiration (ET) needs, salts are flushed beyond the active root zone. If the amount of water passing through the root zone is too low to remove salts, the salinity of the soil solution will increase and, eventually, plant growth will suffer.

Transpiration requirements and salt leaching

Maximization of crop yields when irrigation water is high in concentrated salts depends on providing plant water needs (transpiration, T) and evaporative losses as well as on maintaining minimum soil solution salinity through leaching. ET requirements are often estimated by measuring or calculating ET_p or reference ET (ET₀), which are both functions of climate, and through the use of crop factors that consider plant size (cover) and physiological stage (Allen et al., 1998). Generally, salinity is not considered when calculating ET from ET_p, but it has been suggested that this omission could lead to overestimation of ET, due to the expected salinity-caused reductions in T (Meiri et al., 1977; Dudley et al., 2008).

Since salinity causes osmotic imbalance, reduces water uptake and transpiration, and reduces yields (Bernstein, 1975; Ben-Gal et al., 2009), management of saline water for irrigation is often based on application of excess water, designed to maintain minimum root zone salinity, thus avoiding salinity-caused yield reduction (Ayers and Westcot, 1985). Leaching fraction (LF) is the relative volume of water that carries salts out of the root zone and can be defined as the amount of drainage relative to irrigation water. The minimum LF required to keep the soil salinity below a specific level is the leaching requirement (LR). The LR has been presented as a function of crop sensitivity and irrigation water salinity. The United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) (Ayers and Westcot, 1985) recommends computing LR as follows:

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5 \cdot EC_e^{ac} - EC_{iw}} \quad [3]$$

where, EC_{iw} is irrigation water EC, and EC_e^{ac} is soil saturated paste extract (EC_e) of average soil salinity tolerated by the crop at a predetermined acceptable level. EC_e^{ac} values used to determine LR are usually either the EC_e of the threshold value ($EC_e-0\%$), reflecting a 0% yield-loss decrease due to salinity, or $EC_e-10\%$, reflecting a 10% yield-loss level. The LR calculations assume that all salinity is potentially negative, ignoring “positive” EC from nutrients, which in fertigated agriculture may contribute up to 1 dS/m to EC_{iw} and which may be taken up by plants at rates much greater than for other dissolved salts. Also ignored are chemical reactions in the soil that could alter the assumed conservative relationship between EC_e and EC_{iw} . Examples of LRs for bell peppers (*Capsicum annum*) calculated according to Ayers and Westcot (1985) for EC_{iw} ranging from 0.5 to 5.5 dS/m are shown in Table 2. The LRs are given for two different scenarios: the first, $EC_e-0\%$, representing salinity levels expected to cause no decrease in yield, and the second, $EC_e-10\%$ for scenarios where up to 10% yield decrease due to salinity is acceptable. Also shown in Table 2 are the relative water application rates (Irrigation relative to potential ET: I/ET_p) corresponding to the calculated LRs. The relationship between target LF values and corresponding relative applied irrigation water in terms of ET_p is illustrated in Fig. 5. The calculated water required for leaching is low for tolerant crops and low EC_{iw} and becomes substantial as sensitivity of the crop increases and as EC_{iw} increases as seen for bell pepper (Table 2 and Figure 5). It has been suggested (Meiri and Plaut, 1985; Dudley et al., 2008) that calculations of LR, like those presented by the FAO, are problematic because they do not consider soil type, climate, or salinity-induced reduction in transpiration by the plants. Such omissions could possibly result in underestimation of actual leaching and overestimation of leaching requirements.

Crop response to water under saline conditions and crop response to salinity under water stress conditions

A number of modeling approaches exist that can be utilized to evaluate plant response to both water and salinity (Hopmans and Bristow, 2002; Feddes and Raats, 2004). These models consider environmental factors and dynamic interactions within the soil-water-plant system and facilitate calculation of LFs, evaluation of LRs and prediction of crop response to various irrigation regimes. Typically, the models calculate water uptake or transpiration and predict how these will be reduced by insufficient soil moisture and excess soil water salinity. A recent approach in such models is to combine potential flow (Gardner, 1960; Feddes et al., 1974) and transpiration partitioning (Zhang and Elliot, 1996; Homae et al., 2002). This is accomplished by using the matric potential gradient (Nimah and Hanks, 1973) to compute capability of roots to take up water relative to potential transpiration. Conditions of salinity

cause a further reduction in the resulting transpiration rate using a response function (van Genuchten, 1987).

This approach has been applied to both numerical (Dudley and Shani, 2003) and analytical (Shani et al., 2007) solutions. Shani et al. (2007) offer an analytical solution that predicts plant performance under varied environmental, biological and management parameters. Specific input variables for the model include quantity and salinity of applied water, a term for plant sensitivity to salinity, a term for plant sensitivity to water stress, ETp and soil hydraulic parameters.

The model assumes steady-state conditions and representative root-zone values. Essentially, the model predicts water and salinity response, where both are considered along with the contribution made by the plant to soil moisture/salt concentration, for cases where irrigation is frequent and regular. The model thus allows simple and fast evaluation of the effect of irrigation water quantity on transpiration and on drainage, thereby predicting the LF for any irrigation water quantity-salinity combination.

Table 2. Leaching requirement (LR) according to FAO (Ayers and Westcot, 1985) for peppers at increasing irrigation water salinities (EC_{iw}). Based on EC_e -0% threshold of 1.5 dS/m (zero yield decrease due to salinity: 100% potential yield) and EC_e -10% of 2.2 dS/m (up to 10% yield decrease due to salinity: 90% potential yield). I/Ep is equivalent irrigation rate (irrigation relative to potential evaporation) at each LR. See also Ben-Gal et al. (2008, 2009).

EC_{iw}	90% potential yield		100% potential yield	
	LR	I/Ep	LR	I/Ep
0.5	0.05	1.05	0.07	1.08
1	0.10	1.11	0.15	1.18
2	0.22	1.29	0.36	1.57
3	0.38	1.60	0.67	3.00
5.5	1	~12	2.75	~1260

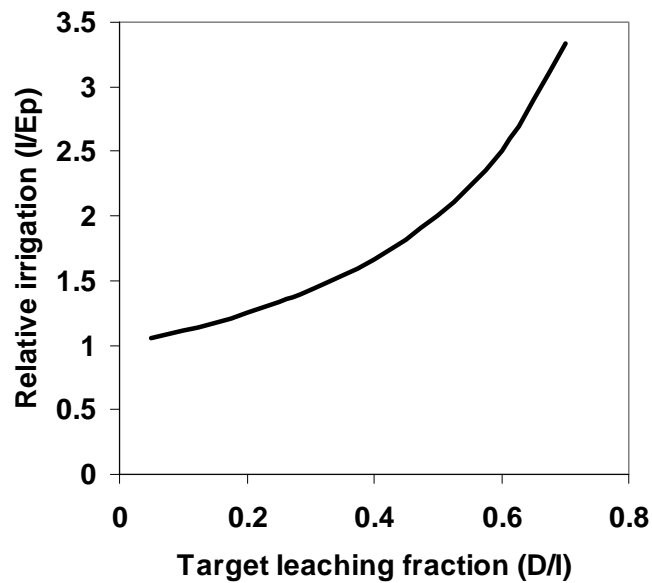


Figure 5. Irrigation rate relative to potential (reference) evaporation (I/E_p) as a function of target leaching fraction (Drainage relative to irrigation).

Adapted from Ben-Gal et al. (2008, 2009)

Let's use date palms (*Phoenix dactylifera*) as a model crop for incorporation of relevant environmental variables into our understanding of the consequences of irrigating with saline water. Date palms were grown in lysimeters and received irrigation water of increasing salinity ($EC = 0.5, 4, 8$ and 12 dS/m) (Tripler, 2004; Tripler et al., 2007; Tripler et al., 2011). The experiment was conducted in the Southern Arava Valley in Israel under extreme arid conditions in a loamy sand soil. We present data from the experiment together with simulated solutions to the cases considered using the Shani et al. (2007) model. Date palms were found to respond to irrigation water salinity (Fig. 6A) under the experimental conditions in a certain, specific manner.

The nature of the irrigation-water-salinity response curve in Figure 6A is dependant upon the amount of water applied, on the sensitivity of the crop, on climate, and on the soil in which the water is applied and the trees grow. A change in irrigation regime, for example, causes changes in the simulated response curve to EC_{iw} (Figure 6B) with greater leaching ($I/ET_p = 2$) essentially reducing the response to irrigation-water-salinity and less leaching ($I/ET_p = 1$) increasing the extent of response.

A more sensitive crop than the date palm, as shown for the example of citrus (Figure 6C), behaves accordingly with its own appropriate response curve. Finally, simulation of cultivation and irrigation of the date palms in a heavier soil (clay loam) predicts a more severe response to increases in EC_{iw} (Figure 6D).

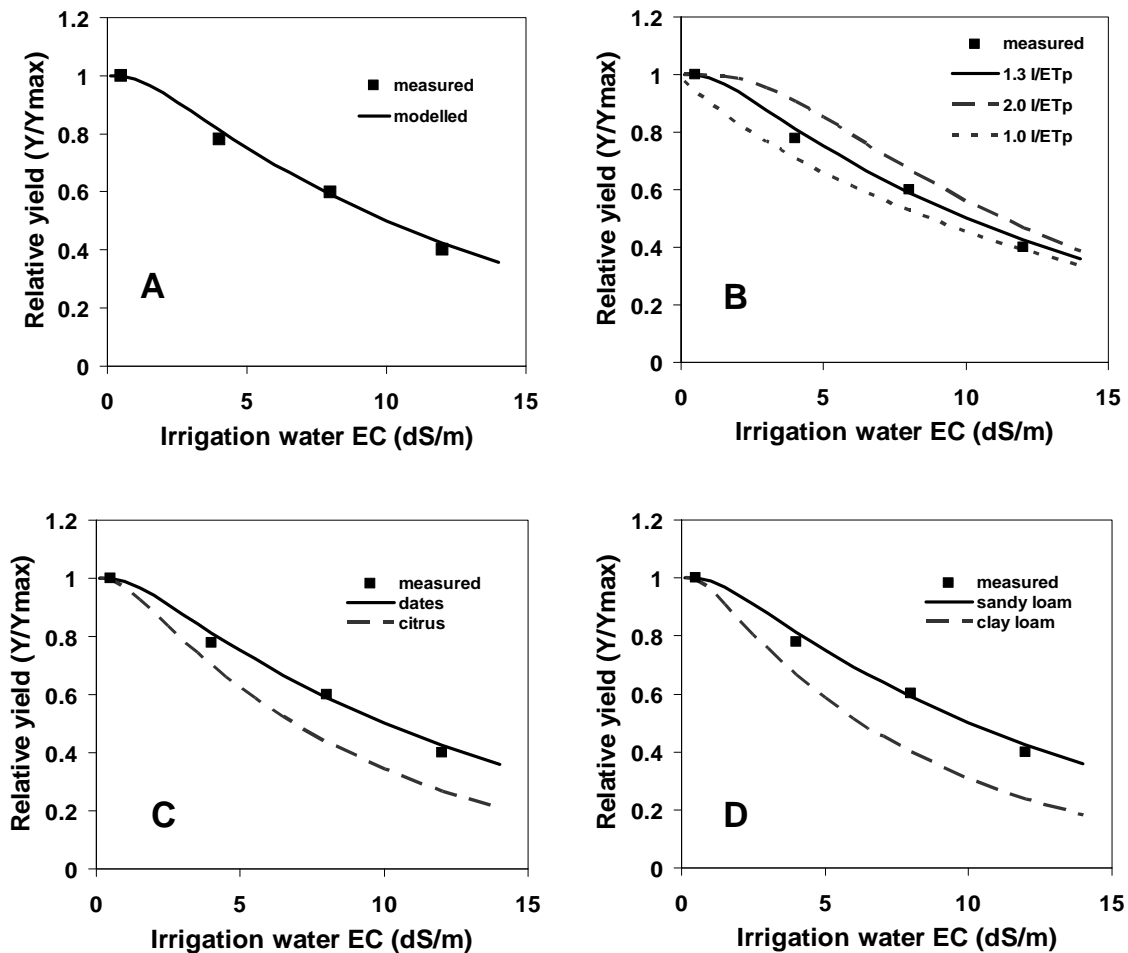


Figure 6. Response of date palm to irrigation water salinity. Symbols are results from lysimeter experiment at Southern Arava R&D station, Yotvata, Israel on Medjool var. dates (Tripler, 2004; Tripler et al., 2007). Lines are results from simulations according to the model of Shani et al. (2007). Y/Ymax is yield relative to maximum yield, I/ETp is irrigation relative to potential evapotranspiration and EC is electrical conductivity. **A.** Under experimental conditions (sandy loam soil, climate of Sothern Arava, Israel, plant sensitivity to salinity according to date palm (EC_e causing 50% decrease in yield: $EC_{e-50\%} = 8$ dS/m), with constant leaching fraction ($I/ET_p = 1.3$). **B.** Under experimental conditions, but with lower irrigation regime ($I/ET_p = 1$) and higher irrigation regime ($I/ET_p = 2$). **C.** Under experimental conditions, but with a more sensitive crop (citrus: $EC_{e-50\%} = 4.8$ dS/m); unpublished data from Yossi Levi and Eran Raveh. **D.** Under experimental conditions but in a heavier (clay loam) soil.

Leaching requirement versus leaching fraction: the role of the plant in water and solute balance.

As irrigation salinity increases, irrigators can avoid decreased yields by increasing the LF, but they must carefully consider the costs versus the expected returns. Theoretically, if one were irrigating with salt-free water, crops would respond linearly to water quantity up to the point where climatic demand was satisfied. Additional water in this case would not have any beneficial effect on growth or yield, and would therefore be superfluous (in the context of this discussion, potential negative effects of excess water are ignored). When irrigation water contains salts, the plant takes up and transpires less water, such that even at low application rates (targets close to or less than ET_p), some leaching of salts out of the root zone occurs. Lower transpiration is accompanied by lower rates of plant growth and yield (Fig. 7A). For pepper cultivation in the Arava Valley of Israel, irrigation water of $EC = 2$ dS/m limits production to ~85% of the potential with low salinity water, and to reach this yield an irrigation regime of 200% ET_p is required (Fig. 7A, Ben-Gal et al., 2008, 2009).

Most available water for irrigation in the Arava is even more saline. Raising EC_{iw} to 3.5 dS/m is even more limiting to production with a maximum of ~65% yield reached with irrigation at 200% of ET_p . EC_{iw} has a substantial influence on actual LF (Fig. 7B). Due to lowered ET caused by higher salinity conditions, the drainage component of the water balance increases as EC_{iw} increases and I/ET_p remains constant. Actual LF of peppers in the case simulated in Fig. 7 (Arava, sandy loam soil) for an irrigation regime of $I/ET_p = 1.2$ is 0.2 for $EC_{iw} = 0.5$ dS/m, 0.38 for $EC_{iw} = 2$ dS/m and 0.5 for $EC_{iw} = 3.5$ dS/m. That is to say that half of the water irrigated for the last case is lost from the root zone and that this was necessary to produce less than 60% of the yield expected for non-saline conditions. Irrigation rates corresponding to those in commercial pepper production and those applied to achieve maximum yields in the field experiments produce LFs reaching 0.6 and more. Another interesting result of the simulation of peppers (Figure 7) is that the LF is relatively high even under conditions of deficit irrigation, where less than ET_p is supplied. Due to the crop self-regulation at low water-application rates, salts build up, transpiration is decreased, and eventually, water content becomes sufficient to leach at least some of the salts beyond the active roots.

Farmers and planners are challenged to consider all the necessary variables while making decisions regarding crop choice and irrigation. Fig. 8 illustrates a tool for including environmental and management variables in economic optimization calculations. Yields are presented as a function of salinity and quantity of applied irrigation water for two crops as predicted by the Shani et al. (2007) analytical model. Equivalent yields for a given constant soil and climate can be achieved through varied combinations of water application quantities and water salinity levels. Shani et al. (2007) give an example using Figure 8 for a farmer in the Arava Valley of Israel where EC_{iw} reaches 3 dS/m. With such water, the farmer cannot expect to reach greater than 70 percent of the potential yield for a pepper crop even with exorbitant rates of water application.

By choosing a more tolerant melon crop, the farmer can achieve 90 percent of potential yield with the same water that yielded 70 percent peppers. Such understanding and modeling tools can and should be applied to evaluate theoretical scenarios for decisions regarding multi-scale water allocation and management (Dudley et al., 2008; Ben-Gal et al., 2009; Groenveld et al., 2013; Ben-Gal et al., 2013).

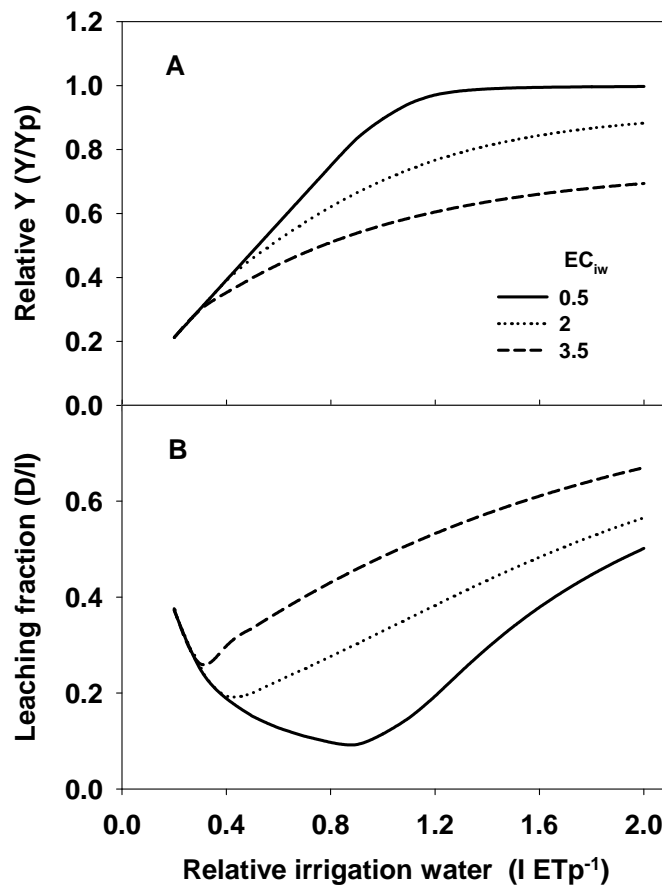


Figure 7. Yield (Y) relative to potential yield (Y_p) and leaching fraction given as a function of relative irrigation water quantity (irrigation relative to potential evapotranspiration; ET_p) for irrigation water salinity (EC_{iw}) levels of 0.5, 2 and 3.5 dS/m. Results are for a simulated pepper crop (EC_{e-50%} = 2.5 dS/m) according to an analytical model (Shani et al., 2007). Growing conditions for the simulation were sandy loam soil in a nethouse in The Arava Valley, Israel (Ben-Gal et al., 2008, 2009).

Irrigation method and frequency

Microirrigation includes any localized irrigation method that slowly and frequently provides water directly to the plant root zone. Drip irrigation (also referred to as trickle irrigation), bubblers and localized small microsprinklers, microspinners and microsprayers are collectively referred to as microirrigation. Microirrigation has enabled precise application of water and fertilizers, and, as such, has advanced irrigation-water-use efficiency. The nature of drip irrigation, where water application is by definition non-uniform in micro-spatial, but very uniform in macro-spatial and temporal terms, raises some interesting possibilities regarding its specific appropriateness with saline water. Most work investigating drip irrigation and saline water has concentrated on water requirements, crop response and leaching capability (Burt and Isbell, 2005).

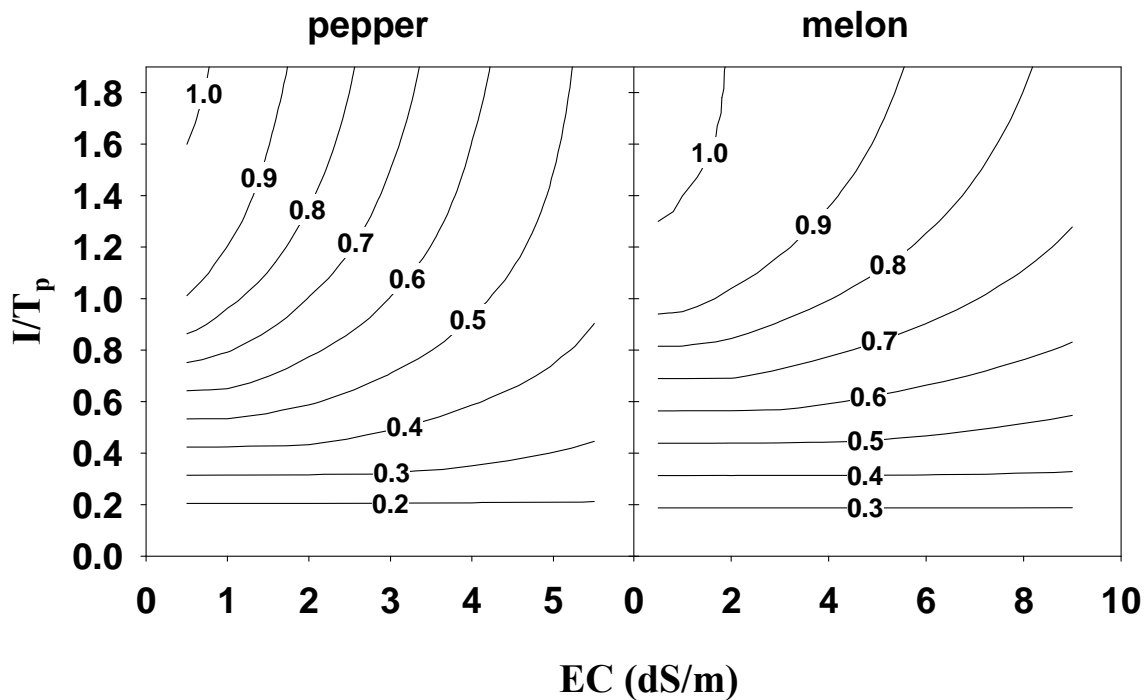


Figure 8. A compensation presentation of iso-yield curves for irrigation water salinity (X axis) expressed as electrical conductivity (EC) and applied irrigation water quantity (irrigation relative to potential transpiration, I/T_p) for pepper and melon crops grown in sandy loam soil in The Arava Valley of Israel. Iso-line numeration represents relative yield where 1 is 100% of potential yield. Curves were computed using an analytical model. (Source: Shani et al., 2007).

In addition to increasing the efficiency of water and nutrient application, advantages of drip irrigation over flood and sprinkle methods, in regards to utilization of saline water, include the avoidance of flooding the entire root zone and reduction of injury to crops due to foliar contact with saline water. Waterlogging has been seen to compound problems of salinity (Barret-Lennard, 2003). Surface microirrigation eliminates foliar contact with saline water and reduces specific ion toxicities resulting from such contact. Most important, the wetting and solute movement patterns under drip irrigation aid crop production under saline conditions because of the relatively moist, relatively leached local areas around the drippers, where roots can efficiently grow and function (Figure 9).

A major advantage of microirrigation over other methods, prior to considerations of salinity, lies in the potential for highly frequent application. One of the problems in reviewing this issue is in the definition of “high-frequency” irrigation. Daily irrigation can be found at either end of the frequency scale, depending on the specific crop, soil and climate considered. For cool climate crops in heavy soils, irrigation once every several weeks may be the norm, and daily irrigation may be considered extremely frequent (Lamm and Trooien, 2003; Kang et al., 2004; El-Hawary, 2005).

Irrigation of fruit or vegetable crops in light soils or soil-less media, on the other hand, often can include multiple short pulses per day or continuous, low flow water application throughout the hours of evapotranspiration (Assouline, 2002; Ben-Gal and Dudley, 2003; Assouline et al., 2006; Segal et al., 2006). In dry, hot climates such pulsed or continuous irrigation regimes are becoming increasingly popular.

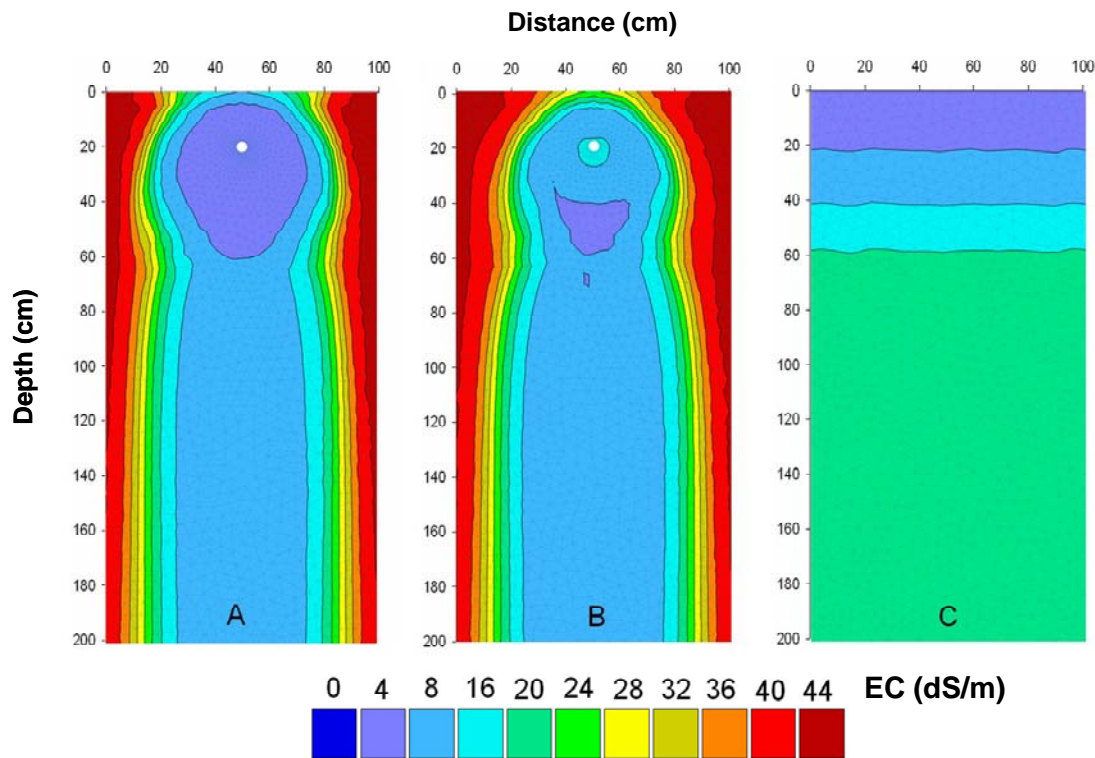


Figure 9. Illustration of the solution salt concentrations (expressed as electrical conductivity, EC) in soil profiles at the end of simulated seasonal irrigation for 3 irrigation method-frequency scenarios with a relatively salt-tolerant crop and moderate irrigation water salinity.

(A) Drip irrigation applied daily, (B) drip irrigation applied once every 5 days and (C) sprinkler irrigation applied once every 5 days.

Details of seasonal water and salt balance for these examples are found in the source: Dudley et al. (2008).

The question of whether increasing irrigation frequency is advantageous under conditions of salinity is still unanswered. Experimental and modeled results regarding leaching efficiency and irrigation frequency reach contradictory conclusions; crop-production benefits and costs due to high frequency-application of saline water have both been reported. Several benefits of high frequency irrigation do exist, regardless of salinity. These include increased water availability for root uptake and improved nutrient management options. Mineral nutrition has been shown to reduce specific toxicity of salts and thus proper high frequency fertigation could be particularly beneficial for saline conditions (Silber, 2005).

Increased frequency is particularly beneficial for horticultural crops on shallow or coarse-textured soils (Lamm and Trooien, 2003).

Leaching and salinity management may or may not benefit from highly frequent application of relatively small quantities of water. One school of thought holds that the small root volumes and small root-to-shoot ratios found under high-frequency irrigation are problematic in salinity management; i.e., a larger, deeper root zone would facilitate more efficient leaching and allow more time to pass before root-zone salinity rose to problematic levels. Less frequent irrigation would also lead to lower evaporation losses, translating into lower irrigation requirements and slower salt build-up (Shalhevet, 1992). Intermittent leaching and less frequent irrigation have been promoted by Meiri and Plaut (1985), Caballero et al. (2001) and Feng et al. (2003) with the reasoning that a large enough root zone allows maintenance of upper soil layers that are relatively leached. An intermittent, non-steady-state leaching strategy would then utilize rainfall and potentially leach more efficiently than constant, steady-state regimes. Several field studies support this theory (e.g., Hoffman et al., 1990; Shalhevet, 1994), but they may be compromised by the fact that their frequency regimes were reflected in different water application quantities and that they did not utilize the irrigation for fertigation (Silber, 2005).

Alternatively, it has been suggested that increased irrigation frequency maintains a relatively leached zone for root activity, with few or no compounding effects due to drying and wetting cycles. Small frequent irrigations would therefore allow reduced deep percolation, regardless of application method (Hanson and Ayars, 2002). Infrequent regimes present plants with stress due to decreases in both osmotic and matric potential occurring between irrigations; frequent regimes would eliminate the matric potential decrease and minimize the osmotic (Hillel, 2000). For drip irrigation, the low salinity zone around and below drippers promotes high yields while controlling (minimizing) LF (Phene, 1986; Hillel, 2000). A number of recent studies support this theory. Assouline et al. (2006) found identical yield and less salt removal when comparing pulsed to daily irrigation of bell pepper with saline water. Daily irrigation with salty water lowered average salinity in the soil profile compared to twice-weekly irrigation (Ayars et al., 1985). Five pulses a day of saline ($EC = 6.2$ dS/m) water was found to overcome the detrimental effects of salinity observed in daily irrigation by Pasternak and De Malach (1995), who measured reduced midday salt concentration in the rhizosphere as a function of the increased irrigation frequency. Dehghanisanij et al. (2006) also showed that timing drip irrigation with saline water to match maximum ET demand maintained maximum moisture and minimized salinity in the immediate area of roots.

Dudley et al. (2008) investigated the potential for high-frequency drip irrigation to minimize production of saline drainage water using the HYDRUS-2d numerical model (Šimůnek et al., 1999) for water flow and solute transport in a sandy loam soil. Fig. 9 illustrates the relatively high concentrations of salts above and around subsurface drip emitters compared to in a sprinkler irrigated profile. Actual salt distribution is dependant on soil type, irrigation quantity, irrigation salinity, root distribution and plant uptake as well as on the irrigation method and on drying and wetting cycles associated with frequency regimes (Mmolawa and Or, 2000). Drip irrigation, with three dimensional wetting, solute transport and accumulation can essentially reduce salt load in drainage as salts are stored in the upper root zone but beyond the plant's zone of active uptake. For the specific case tested by Dudley et al. (2008) drip methodology and increased frequency of irrigation events both reduced drainage water salt load without affecting transpiration.

Environmental implications of irrigation with saline water

Fate of excess salts

Salts leached from the root zone do not disappear. Leached salts make their way into both subsurface and surface water resources; often degrading water resources utilized for agriculture downstream. A major problem related to salt leaching in arid zones, where large quantities of water are introduced, involves the accumulation of salts in the groundwater below the root zone. Eventually (sometimes very quickly), the saline water table rises, intruding into the root zone (Beltrán, 1999). Even when aquifers are deep or rivers are distant, the salts in arid zones eventually may make their way to water resources and become problematic. Salty water tables inhibiting leaching from the root zone were the scourge of ancient Mesopotamia (Jacobson and Adams, 1958; Gelburd, 1985). The Babylonians built civilizations whose food supply depended upon irrigation of vast arid fields with readily available river water only to experience, over time, rising saline water tables, declines in productivity and yields, and the eventual inability to supply the needs of the cities. Stories similar to this follow us through human history in arid regions and similar results continue to cause losses in modern agricultural productivity world wide (Christensen, 1998).

The Murray-Darling river basin in Australia is a noteworthy modern example, where leached salts from agricultural lands return to the river and create a problem for downstream users (Herczeg et al., 1993). Average salinity of River Murray water is 500% higher at the end of the river in South Australia than at the river sources in Victoria and New South Wales. Due to a combination of continued reduction in river flow, dryland recharge and leachate from irrigated agriculture along the river basin, it is predicted that downstream water salinity will continue to increase at a rate that will lead it to double over the next 100 years (Murray-Darling Basin Ministerial Council, 1999). This salinity increase will lead to a decline in agricultural productivity and to infrastructure losses estimated at over 1 billion AU\$.

The FAO (2002) estimated that the productivity of approximately 20–30 million irrigated hectares has been significantly decreased by salinity, and that salinization results in the loss of an additional 0.25–0.5 million hectares globally each year. Salinization is far from being a problem of “developing countries”. In 1990, 1.4 million hectares of irrigated California land were assessed as having a water table within 1.5 m of the surface and 1.7 million hectares were determined to be saline or sodic (Tanji, 1990). Recent work involving regional scale hydro-salinity modeling questions the sustainability of irrigated agriculture in California's San Joaquin Valley, due to inevitable salinization of soil and groundwater (Schoups et al., 2005). Approximately 8.8 million hectares in Western Australia are threatened by rising water tables and may be lost to production by 2050 (NLWRA, 2001).

Irrigated agriculture in arid zones often employs drainage water collection systems to facilitate long-term leaching. Despite installation of extensive drainage systems and groundwater management in recent years, some 25% (more than 5 million hectares) of the Indus River basin of Pakistan are still estimated to be effected by salinity and waterlogging (Tanji and Keilen, 2002). While drainage collection may facilitate field-scale salinity management, disposal of the collected saline water still remains an issue. Leachate contains unwanted salts, excess agricultural additives (including nutrients, herbicides and pesticides) and naturally occurring contaminants that, without irrigation, would not have been mobilized. Proper design of drainage systems, including shallow placement of laterals, have been shown

to cause lower drainage volumes and salt loading (Ayars et al., 2006). In spite of this, design criteria for drainage systems in arid lands are far from standardized.

California's experience with agricultural drainage water is particularly sobering. Strategies to dispose of the water via evaporation in wetlands failed miserably in the late 1970s and early 1980s, due to high concentrations of selenium that caused fish mortality and bird deformities (Letey et al., 1986; Presser and Ohlendorf, 1987). The selenium in California does not come from the irrigation water itself, but is released from the soil where it exists in remnants of marine shale. Regulations demanding zero environmental release of contaminated agricultural wastewater have been established to prevent environmental contamination from salts and nutrients. These regulations, necessary for long-term sustainability, create major challenges for irrigation management today in California and elsewhere.

Approaches to water and salinity management: Can irrigated arid zone agriculture be sustainable?

A variety of strategies have emerged to address the negative phenomena associated with salinization due to irrigation. One method is to reduce leaching. As discussed, calculation of the LF must consider soil, crop, and climate combinations in addition to salinity level, and weigh the costs to crop production that comes with reduction of LF. A second method is to collect and dispose of the leachate. Sustainable management can utilize drainage water collection systems and disposal schemes to avoid environmental degradation. Examples today include: regional interception of saline water before it enters the Murray River in Victoria and South Australia (Alexander, 1990), large scale off- and on-farm drainage collection in the Indus River Valley of Pakistan (Aslam and Prathapar, 2006) and farm-scale drainage systems and local containment and treatment of leachate in California, where such practices have become more prevalent (Tanji et al., 2002). Common to all of these cases is a problem of final disposal of the collected contaminants. Evaporation and water treatment can concentrate them into brines or solids and thus reduce the volume of the waste. Sea/ocean disposal is common, where practical, but may not prove truly environmentally sound or sustainable, depending on the specific chemical make-up of the contaminants.

A third, and maybe most practical, strategy for salinity management is to reduce input of the salts. Water-resource-conservation and salinity-management issues can both be addressed by salt reduction. Reduction of water application when conditions are saline is impractical for productive agriculture, where maximization of yields is imperative. Reduction therefore must concern the salts in the irrigation water. Use of lower salinity water promotes more efficient use of water, as a greater percentage of the applied water is directed at plant consumption and less is directed at leaching salts. Irrigation may also be reduced by increasing plant uptake from shallow groundwater where water tables are sufficiently close to the root zone to permit significant upward flux. Reducing irrigation, in these cases, decreases the salt load from the irrigation water but also risks salinization of the root zone by increasing utilization of more saline groundwater.

Today's policies of providing agriculture with marginal water contaminated with salts and nutrients are, in the end, highly non-sustainable. Better sustainability would be found by providing agriculture with the highest qualities of water; promoting highest productivity along with the lowest environmental consequences (Yermiyahu et al., 2007; Ben-Gal et al., 2009). It may well be a better strategy to desalinate water prior to distribution and thus have well contained, concentrated salt waste and allow greater irrigation efficiency, minimal field

scale leaching, and minimal contamination with nutrients, soil contaminants (e.g., selenium, boron) and various agrochemicals than to irrigate copiously to leach salts and then find solutions for drainage water.

Acknowledgements

This work was made possible in part through support provided by The Middle East Regional Cooperation Program, US Agency for International Development, Grants M24-014 and M25-013.

References

- Alexander, D.J. 1990. Managing resources of the Murray-Darling Basin of Australia. *Water Resources J.* 164:87–99.
- Allen, R.G., L.S Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *Irr. Drain. Paper 56.* UN-FAO, Rome.
- Aslam, M. and S.A. Prathapar. 2006. Strategies to Mitigate Secondary Salinization in the Indus Basin of Pakistan: A Selective Review. *Research Report 97.* International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka. 31 pp.
- Assouline, S. 2002. The effects of microdrip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1630–1636.
- Assouline, S., M. Möller, S. Cohen, M. Ben-Hur, A. Grava, K. Narkis, and A Silber. 2006. Soil-plant system response to pulsed drip irrigation and salinity: Bell pepper case study. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1556–1568.
- Ayars, J.E., E.W.Christen, and J.W. Hornbuckle, 2006. Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture, *Agr. Water Manage.* 86: 128–139.
- Ayars, J.E., R.B Hutmatcher, R.A. Schoneman, S.S Vail, S.H. Patton and D. Felleke. 1985. Salt distribution under cotton trickle irrigated with saline water. 3rd International Drip/trickle Irrigation Congress. Fresno, California. ASAE. St Joseph, MI. pp. 666–672.
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot, 1985. Water quality for agriculture. *FAO Irrig. Drain. Paper 29.* FAO, Rome.
- Balba A.M. 1995. Management of Problem Soils in Arid Ecosystems. Lewis Publishers, CRC Press, New York. 272 pp.
- Barret-Lennard, E.G. 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications. *Plant Soil.* 253:35–54.
- Bar-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. *Adv. Agron.* 65:1–75.
- Beltrán, J.M. 1999. Irrigation with saline water: benefits and environmental impact. *Agr. Water Manage.* 40:183–194.
- Ben-Gal, A. and L. Dudley. 2003. Phosphorus availability under continuous point-source irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1449–1456.
- Ben-Gal A Yermiyahu U and Cohen S. 2009. Fertilization and blending alternatives for irrigation with desalinated water. *J Environ Qual.* 38, 529-536.
- Ben-Gal, A., Neori-Borochoy, H., Yermiyahu, U. and Shani, U. 2009. Is osmotic potential a more appropriate property than electrical conductivity for evaluating whole plant response to salinity? *Environ Exp Bot.* 65, 232-237.
- Ben-Gal A., Ityel E., Dudley L., Cohen S, Yermiyahu U, Presnov E, Zigmond L, Shani U. (2008) Effect of irrigation water salinity on transpiration and on leaching requirements: A case study for bell peppers. *Agric. Water Manag.* 95, 587-597

- Ben-Gal, A, Weikard, H-P, Shah SH, van der Zee S. 2013 A coupled agronomic-economic model to consider allocation of brackish irrigation water. *Water Resour. Res.* 49, doi: 10.1002/wrcr.20258.
- Ben-Hur, M., M. Agassi, R. Keren, and J. Zhang. 1998. Compaction, aging, and raindrop-impact effects on hydraulic properties of saline and sodic Vertisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1377-1383.
- Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annu. Rev. Phytopathol.* 13:295–312.
- Bethune M.G. and T.J. Batey. 2001. Impact of soil hydraulic properties resulting from irrigating saline-sodic soils with low salinity water. *Austral. J. of Exper. Agric.* 42:273-279.
- Burt, C.M. and B. Isbell. 2005. Leaching of accumulated soil salinity under drip irrigation. *Transactions of the ASAE.* 48:2115–2121.
- Caballero, R., A. Bustos, and R. Roman. 2001. Soil salinity under traditional and improved irrigation schedules in Central Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1210–1218.
- Christensen, P. 1998. Middle Eastern irrigation: Legacies and lessons. In: *Transformations of Middle Eastern Natural Environments: Legacies and Lessons.* (J. Coppock and J. Miller, eds.). Yale School of Forestry and Environmental Studies, vol. 103. New Haven, CT.
- Dan Y., D. Yaalon, H. Koymdjisky and Z. Raz. 1977. The Soils of Israel (with 1: 500,000 soil map of Israel). Bulletin 168 of The Volcani Institute, Agricultural Research Organization, Beit Dagan, Israel 28p. in Hebrew.
- Dehghanisanij, H., M. Agassi, H. Anyoji, T. Yamamoto, M. Inoue, and A.E. Eneji. 2006. Improvement of saline water use under drip irrigation system. *Agr. Water Manage.* 85:233–242.
- Dudley, L. and U. Shani. 2003. Modeling plant response to drought and salt stress: Reformulation of the root-sink term. *Vadose Zone J.* 2:751–758.
- Dudley L., Ben-Gal A. and Shani U. 2008. Influence of plant, soil and water properties on the leaching fraction. *Vadose Zone J.* 7, 420-425.
- Dudley, L.M., Ben-Gal, A. and Lazarovitch, N. 2008. Drainage water reuse: biological, physical, and technological considerations for system management. *J. Environ. Qual.* 37, S-25-S35.
- El-Hawary, A. 2005. Best Management Practices for the Drainage Water Reuse A. Technical Report. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. 57 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2002. Crops and drops: Making the best use of water for agriculture. FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Feddes, R.A., E. Bresler, and S.P. Newman, 1974. Field test of a modified numerical model for water uptake by root systems. *Water Resour. Res.* 10:1199–1206.
- Feddes, R.A. and P.A.C. Raats, 2004. Parameterizing the soil–water–plant–root system. pp. 95–141. In: *Unsaturated-zone modeling: Progress, challenges and applications.* (R.A. Feddes et al. eds.) Wageningen UR Frontis Ser., vol. 6. Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, The Netherlands.
- Feng, G.L., A. Meiri, and J. Letey. 2003. Evaluation of a model for irrigation management under saline conditions: II. Salt distribution and rooting pattern effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:77–80.
- Gardner, W.R. 1960. Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Sci.*, 89:63–73.
- Gardner, W.R. 1991. Modeling water uptake by roots. *Irrigation Sci.* 12:109–114.
- Gelburd, D.E. 1985. Managing salinity. Lessons from the past. *J. Soil Water Conserv.* 40:329–331.

- Groenveld, T. Lazarovitch, N., Yermiyahu, U., Ben-Gal A. 2013. Climate determined relative sensitivity of plants to salinity: quantification and simulation. *Vadose Zone J.* in press.
- Hanson, B.R. and J.E. Ayars, 2002. Strategies for reducing subsurface drainage in irrigated agriculture through improved irrigation. *Irrig. Drain. Systems.* 16:261–277.
- Herczeg, A.L., J.H. Simpson, and E. Mazor. 1993. Transport of soluble salts in a large semiarid basin: River Murray, Australia. *J. Hydrol.* 144:59–84.
- Hillel, D. 2000. *Salinity Management for Sustainable Irrigation. Integrating Science, Environment, and Economics.* The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK Washington, D.C.
- Hoffman, G.J. 1986. Management principles: Salinity. pp 345–362. In *Trickle Irrigation for Crop Production, Design, Operation and Management.* (F.S. Nakayama and D.A. Bucks, eds.). Elsevier.
- Hoffman, G.J., J.D. Rhoades, J. Letey, and F. Sheng. 1990. Salinity management. pp. 667–715. In: *Management of Farm Irrigation Systems,* (G.J. Hoffman, T.A. Howell and K.H. Solomon, eds.). Amer. Soc. Agric. Eng. MI, USA.
- Homaee, M., R.A. Feddes, and C. Dirksen. 2002. A macroscopic water extraction model for nonuniform transient salinity and water stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1764–1772.
- Hopmans, J.W. and K.L. Bristow. 2002. Current capabilities and future needs of root water and nutrient uptake modeling. *Adv. Agron.* 77:103–183.
- Jacobson, T. and R.M. Adams. 1958. Salt and silt in ancient Mesopotamian agriculture. *Science,* 128:1251–1258.
- Kang, Y., F. Wang, H. Liu, and B. Yuan. 2004. Potato evapotranspiration and yield under different drip irrigation regimes. *Irrigation Sci.* 23:133–143.
- Lamm, F.R. and T.P. Trooien. 2003. Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. *Irrigation Sci.* 22:195–200
- Letey, J., C. Roberts, M. Penberth, and C. Vasek. 1986. *An Agricultural Dilemma: Drainage Water and Toxics Disposal in the San Joaquin Valley.* UC Agricultural Experimental Station Spec. Publ. 3319. 56 pp.
- Marion, G.M. and K.L. Babcock. 1976. Predicting specific conductance and salt concentration in dilute aqueous solutions. *Soil Sci.* 122:181–187.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants,* 2nd Ed. Institute of Plant Nutrition, University of Hohenheim, Federal Republic of Germany. Academic Press.
- Meiri, A. and Z. Plaut. 1985. Crop production and management under saline conditions. *Plant Soil* 89:253–271.
- Meiri, A., J. Kamburov, and J. Shalhevet. 1977. Transpiration effects on leaching fractions. *Agron. J.* 69:779–782.
- Mmoloawa, K. and D. Or. 2000. Root zone solute dynamics under drip irrigation: a review. *Plant Soil,* 222:163–190.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell Environ.* 25:239–250.
- Murray-Darling Basin Ministerial Council. 1999. *The salinity audit of the Murray-Darling Basin: A 100-year perspective.* Murray-Darling Basin Commission, Canberra, 39 pp.
- Nimah, N.M. and R.J. Hanks, 1973. Model for estimating soil water, plant and atmospheric interrelations: I. Description and sensitivity. *Soil Sci. Soc. Am. Pro.* 37:522–527.
- NLWRA (National Land and Water Resources Audit). 2001. *Australian Dryland Salinity Assessment 2000: Extent, Impacts, Processes, Monitoring and Management Options.* Commonwealth of Australia, Canberra, Australia.

- Pasternak, D. and Y. De Malach. 1995. Irrigation with brackish water under desert conditions. X. irrigation management of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* mills) on desert sand dunes. *Agr. Water Manage.* 28:121–132.
- Phene, C.J. 1986. Automation. In: *Trickle Irrigation for Crop Production*. F.S. Nakayama and D.A. Bucks (eds.). Elsevier, Amsterdam.
- Presser, T.S. and H.M. Ohlendorf. 1987. Biogeochemical cycling of selenium in the San Joaquin Valley, California, USA. *J. Environ. Manage.* 11:805–821.
- Qadir, M. and S. Schubert. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degradation & Development*, 13:275-294.
- Schoups, G., J.W. Hopmans, C.A. Young, J.A. Vrugt, W.W. Wallender, and K.K. Tanji. 2005. Sustainability of irrigated agriculture in the San Joaquin Valley, California. *Proc. Nat. Ac. Sci.*, 102:15352–15356.
- Segal, E., A. Ben-Gal, and U. Shani. 2006. Root water uptake efficiency under ultra-high irrigation frequency. *Plant Soil*. 282:333–341.
- Shainberg, I. and J. Letey. 1984. Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia*. 61:21-57.
- Shalhevet, J. 1992. Using water of marginal quality for crop production: Major issues. pp. 17–52. In: *Water Use Efficiency in Agriculture*. (J. Shalhevet, L. Changming and X. Yuexian, eds.). Priel Publishers, Rehovot, Israel.
- Shalhevet, J. 1994. Using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agr. Water Manage.* 25:233–269.
- Shani, U. and A. Ben-Gal. 2005. Long-term response of grapevines to salinity: osmotic effects and ion toxicity. *Am. J. Enol. Viticult.* 56:148–154.
- Shani, U., A. Ben-Gal, E. Tripler, and L.M. Dudley. 2007. Plant response to the soil environment: An analytical model integrating yield, water, soil type and salinity. *Water Resour. Res.* doi:10.1029/2006WR005313
- Silber, A. 2005. Fertigation frequency and nutrient uptake by plants: Benefits and constraints. *Proceedings No 571, International Fertiliser Society, York, UK.* pp. 1–36.
- Šimůnek, J., M. Sejna, and M. Th. van Genuchten. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 2.0. U.S. Salinity Laboratory. Riverside, CA. 227p.
- Smedema, L.K. and K. Shiati. 2002. Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. *Irrig. Drain. Systems*, 16:161–174.
- Tanji, K.K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity problems. pp. 1–17. In: *Agricultural salinity assessment and management*. (K.K. Tanji, ed.) ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 71. ASCE, New York.
- Tanji, K., D. Davis, C. Hanson, A. Toto, R. Higashi, and C. Amrhein. 2002. Evaporation ponds as a drainwater disposal management option. *J. Irrig. Drain. Systems*, 16:279–295.
- Tanji, K. and N. Kielen. 2002. *Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas*. FAO Irrigation and Drainage Paper 61. FAO, Rome, Italy.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38:55–94.
- Tripler, E. 2004. Medjool date palm tissue culture under combined excess of boron and salinity stress. MS thesis. Hebrew University of Jerusalem, Rehovot, Israel.
- Tripler, E., A. Ben-Gal and U. Shani. 2007. Consequence of salinity and excess boron on growth, evapotranspiration and ion uptake in date palm (*Phoenix dactylifera* L., cv. Medjool). *Plant Soil*. doi:10.1007/s11104-007-9328-z.
- Tripler E., Shani U., Mualem Y., and Ben-Gal A. 2011. Long-term growth, water consumption and yield of date palm as a function of salinity. *Agric. Water Manag.* 99, 128-134.

- UNEP (United Nations Environment Programme). 1992. World Atlas of Desertification. Edward Arnold, Seven Oaks, Nairobi, Kenya.
- van Genuchten, M.Th. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Res. Report, U.S. Salinity Lab, Riverside, CA.
- Yermiyahu U., R. Keren and Y. Chen. 1988. Boron sorption on composted organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1309–1313.
- Yermiyahu, U., S. Nir, G. Ben-Hayyim, U. Kafkafi, and T.B. Kinraide. 1997. Root elongation in saline solution related to calcium binding to root cell plasma membranes, *Plant Soil.* 191:67–76.
- Yermiyahu U., Tal A., Ben-Gal A., Bar-Tal, A. Tarchisky J. and Lahav, O. 2007. Rethinking desalinated water quality and agriculture. *Science*, 318, 920-921.
- Xu, G., H. Magen, J. Tarchitzky, and U. Kafkafi. 2000. Advances in chloride nutrition of plants. *Adv. Agron.* 68:97–150.
- Zhang, J., and R.L. Elliot. 1996. Two-dimensional simulation of soil water movement and peanut water uptake under field conditions. *Trans. ASAE.* 39:497–504.

In memorandum

Professor Lynn Murdock Dudley, born May 15, 1955, tragically passed away on September 11, 2013. Lynn was an avid outdoorsman and scholar. He spent much of his free time hunting, chasing birds with his dogs, and fly fishing around the world. A marathon runner, a road biker, skier and world traveler he still found time to become a renowned academic in soil chemistry and contributed significantly to the understanding and modeling of crop response to salinity. Lynn spent most of his professional career at Utah State University where he became one of the youngest tenured professors at the age of 30. He had a rich professional life, becoming President of the American Association for the Advancement of Science Pacific Division and the President of the faculty senate at USU. Besides authoring 48+ significant publications Lynn became the first department chair of Earth, Ocean and Atmospheric Science at Florida State University. Lynn will be sincerely and deeply missed by his friends and colleagues.

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA ACUICULTURA

José B. PELETEIRO

Centro Oceanográfico de Vigo, Instituto Español de Oceanografía. Vigo. España.

Resumen

El crecimiento de la acuicultura en las últimas décadas en España y en el mundo, ha convertido esta actividad en el sector de la producción primaria de más rápido crecimiento. Sin embargo este crecimiento ha ido acompañado de una considerable evolución en los mercados y de importantes cambios que han sido dirigidos fundamentalmente a la mejora del producto y al aumento de la diversidad de especies, para ofrecer al consumidor un alimento de confianza, variado y sano desde el punto de vista económico, nutricional y sanitario. Esto también ha llevado a la regulación de zonas consideradas protegidas en algunos casos, o de dominio público en otros, para su utilización en acuicultura de forma racional. De la misma manera, no podemos olvidar el papel fundamental que esa desarrollando la acuicultura en los países en vías de desarrollo, como un elemento indispensable para erradicar el hambre, ni los efectos drásticos que pueda tener el cambio climático en el futuro de la acuicultura

Abstract

During the last decades, aquaculture has become the activity with the fastest growth in the primary sector in Spain. Nevertheless, this growth has been accompanied by a remarkable evolution of the market and important changes towards mainly to the improvement of quality product and species diversification, in order to deliver a trust worthy, healthy, nutritional and reliable product for the consumer. This has also contributed to new regulations, regarding protected areas in some cases, or of public domain in others, allowing their utilization in aquaculture in a rational and responsible manner. Furthermore, we can not forget the important role that aquaculture has in developing countries, as a vital element to eradicate hunger, nor the drastic effect that climate change could have in the future of aquaculture.

La acuicultura de peces marinos es una actividad que se encuentra en plena expansión. Las primeras experiencias destinadas al desarrollo de tecnología de cultivos de peces marinos en España, datan de principios de la década de los años setenta, con especies como la dorada *Sparus aurata* (Linnaeus, 1758), la lubina *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) o el langostino *Penaeus keraturus* (Forsskål, 1775). Sin embargo estas inquietudes no llegaron a Galicia hasta principios de la década de los ochenta, cuando se llevaron a cabo las primeras experiencias con el rodaballo *Scophthalmus maximus* (Linnaeus, 1758), siendo indiscutiblemente a día de hoy, el primer productor mundial de esta especie (fotografía 1).

Se reconoce a la acuicultura como el sector de producción primaria de más rápido crecimiento en las últimas tres décadas, habiendo registrado una tasa de expansión anual de casi un 10%; experimentando también en los últimos 20 años un fuerte crecimiento (próximo al 6% anual). Sin embargo, la tendencia de los datos indica que este ritmo de crecimiento está disminuyendo y se admite que, en la mayoría de las regiones, el crecimiento del sector no se puede mantener al mismo nivel (FAO 2012).



Fotografía 1. Instalaciones de Acuicultura en CO de Vigo del Instituto Español de Oceanografía

El fuerte empuje que tiene actualmente la acuicultura tanto continental como marina, viene marcado por la necesidad de consumo de pescado de nuestra sociedad, el cual aporta una gran cantidad de elementos esenciales para nuestro organismo, al tratarse de un alimento altamente nutritivo. El suministro de pescado procedente de la pesca extractiva, se ha estacionado en los años 80 en torno a los 90 millones de toneladas, de los cuales aproximadamente una cuarta parte, se utiliza para otros fines que no son el consumo humano, destinándose prácticamente en su totalidad (aprox. 24 millones t) a la fabricación de piensos para animales, tanto terrestres como acuáticos, lo cual indirectamente se transforma en alimento para consumo humano.

En el año 1980 tan solo el 9% del pescado para consumo humano procedía de la acuicultura y el 91% restante procedía de la pesca; mientras que en el año 2011 un 49% del pescado consumido procedía de la acuicultura y un 51% de la pesca, lo cual es reflejo del gran empuje que ha manifestado la acuicultura en los últimos años (FAO, 2012).

Según esta tendencia de consumo y teniendo en cuenta el ritmo de crecimiento de la población mundial, las previsiones de la FAO (2011) señalan que para el año 2030 serán necesarias unos 40 millones t adicionales para satisfacer las necesidades de alimento de la población mundial (fotografía 2).

La acuicultura ha sufrido tanto a nivel nacional como internacional los efectos de la crisis económica, de hecho en España todas las especies cultivadas, a excepción de la lubina, el rodaballo y el besugo cuyas producciones han crecido en el 2011 entre el 8 y el 15%, han sufrido un descenso significativo en sus respectivas producciones (APROMAR 2012). No obstante a nivel mundial, aunque las producciones se han ralentizado, la pesca creció del orden de un 1.9 % y la acuicultura un 3.6 % (FAO 2012)



Fotografía 2. Instalaciones de cultivo de tilapia en jaulas en Alagoas (NE de Brasil)

El pescado de crianza tiene cada vez más relevancia y aceptación por los consumidores, eso se ha demostrado recientemente con los resultados del proyecto de investigación: “Caracterización de la calidad del pescado de crianza” financiado por el Plan Nacional JACUMAR (Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos); en los cuales se muestra de forma fehaciente la preferencia de los consumidores por el pescado de crianza, en lo relativo a su sabor, textura, aspectos sanitarios y precio. En base a este proyecto, se llevó a cabo un estudio muy profundo de todas las características del pescado de crianza para establecer los criterios que definan su calidad y la percepción del mismo por parte de los consumidores de nle comparación con el pescado salvaje. Además de las características organolépticas, se analizó el valor nutritivo y los atributos sensoriales de los dos tipos de pescado y también se evaluaron los cambios producidos, utilizando harinas y/o aceites vegetales en la elaboración de los piensos. Otro de los objetivos planteados en este proyecto fue el estudio de los niveles de contaminación tanto en el pescado de crianza como salvaje y la evolución del deterioro una vez sacrificado. Los resultados fueron realmente sorprendentes; en términos generales, aunque los consumidores tienen una aceptación superior del pescado salvaje, los resultados de las catas demuestran una clara preferencia por el sabor del pescado de crianza (fotografía 3).

Uno de los principales problemas con que se encuentra en estos momentos la acuicultura en cuanto a su expansión se refiere, es la disponibilidad de alimento para los peces. La producción de harina y aceite de pescado para la elaboración de piensos de origen animal, está estacionada como consecuencia del estancamiento de la extracción pesquera. La alternativa a este cuello de botella es la utilización de piensos elaborados con proteína de origen vegetal, de hecho, los piensos comerciales incorporan ya entre el 30 y el 80 % aproximadamente de proteína de origen vegetal. Las pruebas que se han hecho hasta el momento en cuanto a la sustitución total o parcial de la proteína de origen animal por proteína de origen vegetal, en el alimento para el cultivo de especies consolidadas ya en el mercado, han demostrado que en la mayor parte de los casos, no afecta al crecimiento y tampoco al sabor ni, en general, a las

características organolépticas del pescado. La utilización de piensos elaborados con proteína vegetal, no supone necesariamente que se trate de un producto más económico, pero sí ofrecen la posibilidad de que la acuicultura sea una actividad sostenible y paliar en gran parte el problema que supone el estrangulamiento de la acuicultura mundial por la no disponibilidad de materia prima para la elaboración de los piensos. Este problema no afecta solamente al sector de la acuicultura marina y continental, sino que afecta también al sector ganadero.



Fotografía 3. Jornadas de presentación de los resultados del proyecto Caracterización de la Calidad del Pescado de Crianza, financiado por el PN JACUMAR

Otro de los aspectos que repercute negativamente sobre el desarrollo de la acuicultura es la extrema complicación administrativa que supone la construcción y puesta en funcionamiento de una instalación acuícola. La gran cantidad de normativa impuesta tanto por la UE como por el gobierno central y los gobiernos de las respectivas Comunidades Autónomas, tanto de tipo administrativo como sanitario, van en detrimento de su desarrollo, entrando en muchos casos en conflicto con importaciones realizadas desde otros países que no requieren este tipo de normativas, lo que supone un claro agravio para nuestro sector de la acuicultura.

A pesar de todo, la acuicultura es una actividad en expansión y buena parte de ello se debe a la evolución de los mercados. La búsqueda de nuevas especies para ofertar a los consumidores, es una tendencia a la alza en esta actividad, y en la que España es líder a nivel europeo. Si consideramos otras actividades similares a esta, como puede ser la ganadería, comprobaremos que la oferta es muy inferior, en lo que a especies se refiere, que en la acuicultura. Lo que en su momento comenzó como una actividad que ofertaba a nuestros mercados dos especies marinas, hoy en día podemos hablar de ocho especies consolidadas en

el mercado tales como dorada, lubina, rodaballo, lenguado *Solea senegalensis* (Kaup, 1858), corvina *Argyrosomus regius* (Asso, 1801), besugo *Pagellus bogaraveo* (Linnaeus, 1758), anguila *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) y langostino. Además existen del orden de unas treinta especies en proceso de investigación a lo largo de toda la costa española, algunas de las cuales saldrán a nuestros mercados en un futuro no muy lejano; se trata de especies muy interesantes como pueden ser la seriola *Seriola dumerili* Risso, 1810, la merluza *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758), la cherna *Polyprion americanus* (Bloch & Schneider, 1801) o el mero *Epinephelus marginatus* Lowe, 1834 y el atún rojo *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758), entre otras. Estas especies cubren un doble objetivo, por un lado, ofrecen al consumidor nuevos productos a precios más asequibles, y por otro, alivian considerablemente la presión y el esfuerzo pesquero que se ejerce sobre ellas (fotografía 4).



Fotografía 4. Cultivo de besugo (*Pagellus bogaraveo*) en jaulas en la ensenada de Lorbé (La Coruña) del grupo Isidro de la Cal

La acuicultura es también una potente arma para tratar de solucionar en parte los problemas de alimentación en los países en vías de desarrollo. La posibilidad de transferir técnicas básicas de acuicultura de subsistencia a países del tercer mundo, ofrece la posibilidad de paliar el hambre y de incorporar a la mujer en el mercado del trabajo, sobre todos en países con grandes posibilidades de desarrollo y con un gran potencial tanto en recursos naturales como humanos. Este tipo de actividades se canalizan en nuestro país a través de La Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), que es una Entidad de Derecho Público adscrita al Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación (fotografía 5).



Fotografía 5. Aldea en Urabá (Colombia), en donde se están estableciendo planes para el desarrollo de la acuicultura a través de proyectos de la cooperación española.

Una de las aplicaciones poco conocidas de la acuicultura desde el punto de vista de la sostenibilidad, es el soporte tecnológico que supone el desarrollo de las técnicas de producción para la implantación de programas de repoblación de stocks sometidos a una fuerte presión por las pesquerías comerciales, en algunos casos, o artesanales y deportivas en otros. Así, no solo contribuye de forma directa a la mejora del estado de determinados stocks, sino que también indirectamente reduce de forma considerable el consumo de especies salvajes sometidas a sobreexplotación, al introducir en el mercado especies comerciales de crianza.

La acuicultura está íntimamente ligada a los procesos de cambio climático y su desarrollo futuro va a depender en gran parte de las medidas que adopten los gobiernos para mitigar su impacto, así como de las actitudes de determinados sectores de nuestra sociedad. No podemos olvidar que muchas de las actividades acuícolas se llevan a cabo en la costa, que es posiblemente una de las áreas más afectadas y donde se concentra la más alta densidad de población a nivel mundial y una gran actividad comercial e industrial. Por otra parte, es en el continente donde se lleva a cabo el 65% de la producción de acuicultura mundial, y el impacto del cambio climático afectará de distinta forma a los continentes, que se verán sometidos a grandes cambios, repercutiendo en la disponibilidad hídrica y en los patrones climáticos, como por ejemplo los acontecimientos de pluviosidad extrema, y los procesos de eutrofización y estratificación en las aguas estáticas (fotografía 6).



Fotografía 6. Efectos del cambio climático en instalaciones de cultivo en Latinoamérica

Basándose en los pronósticos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC 2007), los elementos del cambio climático que probablemente repercutan en la acuicultura se pueden resumir como sigue:

- Recalentamiento mundial: las opiniones concuerdan en que el recalentamiento de la Tierra será de 1.1°C durante este siglo, pudiendo incluso alcanzar los 3°C.
- Subida del nivel del mar: la subida del nivel del mar estará relacionada con el recalentamiento mundial. Según cálculos del IPCC, el nivel de los océanos subirá entre 10 y 100 cm durante el presente siglo; la expansión térmica supondrá 10 a 43 cm de esta subida, y el derretimiento de los glaciares 23 cm. El aumento del nivel del mar influirá profundamente en las regiones de los deltas, determinará la invasión de las tierras por aguas salinas y ocasionará alteraciones bióticas.
- Productividad de los océanos y cambios en los patrones de circulación: se predicen cambios importantes en la productividad de los océanos y en los patrones de circulación; los océanos que más sufrirán repercusiones serán el Atlántico septentrional y el Índico. Los cambios tendrán efectos en las pesquerías y en otros grupos de biomasa planctónica vegetal y animal y se traducirán en modificaciones de las cadenas tróficas.
- Cambios en los monzones y aparición de fenómenos climáticos extremos: frecuencia de las inundaciones, variaciones en los patrones de las lluvias monzónicas y la tempestuosidad general.
- Estrés hídrico: el IPCC (2007) estima que para 2020 entre 75 y 250 millones de personas en África experimentarán estrés hídrico y que, según las proyecciones, en particular en las grandes cuencas hidrográficas en Asia central, meridional, oriental y sudoriental la disponibilidad de agua dulce disminuirá. América del Sur y Europa estarán en una situación mejor.

- Cambios en los regímenes hidrológicos de las aguas continentales: es probable que a causa del calentamiento atmosférico ocurran cambios que repercutan en las actividades de acuicultura, tanto en ambientes lénticos como lóticos.

La Comisión Europea publicó en 2009 un documento dirigido a impulsar una estrategia para el desarrollo de la acuicultura europea; los principales objetivos de esta estrategia son:

- Fomentar la competitividad de la acuicultura de la UE promoviendo la investigación y el desarrollo tecnológico, otorgando al sector una competencia en pie de igualdad en la ordenación del territorio, fortaleciendo su posición en la escena internacional y revisando la política de mercados del sector pesquero.
- Potenciar el crecimiento sostenible fomentando los métodos de producción ecológicos, manteniendo elevados niveles de sanidad y bienestar animal, protegiendo la salud del consumidor y divulgando las propiedades saludables del consumo de productos de la acuicultura.
- Mejorar la imagen y la gobernanza del sector creando condiciones de igualdad para todos los agentes económicos, reduciendo la burocracia y fomentando la información objetiva, la participación de los interesados en la política y el seguimiento adecuado del sector.

Todos estos objetivos se lograrán mediante la labor conjunta de las administraciones de la UE, nacionales y regionales. Este documento debe considerarse como un punto de partida para el diseño y desarrollo de acciones concretas que relancen el desarrollo de la acuicultura en la UE.

Referencias

APROMAR. 2012. La Acuicultura Marina en España 2012. España.

Comisión Europea. 2009. Construir un futuro sostenible para la acuicultura: Nuevo impulso a la Estrategia para el desarrollo sostenible de la acuicultura europea. [COM(2009) 162]COM(2009) 162

FAO. 2011 The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA) 2010. Departamento de Pesca. Roma, Italia.

FAO. 2012. The State of World Fisheries and Aquaculture 2012. Rome, Italy.

IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza.

HÁBITATS PARA LA PUESTA DE CEFALÓPODOS EN EL PARQUE NACIONAL MARÍTIMO TERRESTRE DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA

Ángel GUERRA; Manuel E. GARCI; Jorge HERNÁNDEZ-URCERA; Ángel GONZÁLEZ

Instituto de Investigaciones Marinas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Vigo. España

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de proyecto de investigación CEFAPARQUES, iniciado en noviembre del 2011 y que durará tres años. El objetivo de este proyecto es caracterizar e identificar los hábitats adecuados para la puesta y primeras etapas de desarrollo de cefalópodos de importancia comercial, que depositan sus puestas en sustratos bentónicos. El proyecto se desarrolla en aguas del Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia (PNIAG), localizado en el Noreste Atlántico. Las especies estudiadas son: el pulpo común (*Octopus vulgaris*), la sepia (*Sepia officinalis*) y el calamar común (*Loligo vulgaris*).

Abstract

In this paper are presented the preliminary results of the research project CEFAPARQUES, which started in November 2011 and will last three years. The aim of this project is to characterize and identify adequate habitats for spawning and early stages of development of commercially important cephalopod species, which lay their egg clutches in benthic substrates. The project is being developed in waters of the National Maritime-Terrestrial Park of the Islas Atlánticas de Galicia (PNIAG) located in the north-eastern Atlantic. The species studied are: common octopus (*Octopus vulgaris*), common cuttlefish (*Sepia officinalis*) and European squid (*Loligo vulgaris*).

Introducción

Los cefalópodos juegan un papel importante en la mayoría de los ecosistemas marinos del planeta, como presas, depredadores y vectores de parásitos (Boyle & Rodhouse, 2005). Aunque anatómicamente y fisiológicamente sean moluscos, funcionalmente actúan como peces. Además de emplearse como modelos en investigaciones biomédicas, neurológicas y etológicas, muchas especies tienen importancia comercial tanto por sus pesquerías como por ser potencialmente interesantes para el cultivo. En la península Ibérica hay citadas cerca de un centenar de especies (Guerra, 1992). Entre ellas, las de mayor importancia socioeconómica son el pulpo común (*Octopus vulgaris*), el calamar (*Loligo vulgaris*) y la sepia o choco (*Sepia officinalis*). La biología de estas tres especies es bien conocida (Boletzky, 1993; Mangold, 1983; Worm, 1983).

A diferencia de lo que se observa en otras áreas geográficas donde hay áreas de puesta bien identificadas relativamente extensas (Schell, 2002; Sánchez et al., 2008), en pulpo, sepia y calamar de las costas del Atlántico Ibérico no existen o no se han hallado todavía. Sin embargo, deben existir hábitats preferentes de puesta que aseguren el éxito reproductivo de estas especies. Este estudio, enmarcado dentro del proyecto CEFAPARQUES (2011-2014), se está desarrollando en el Parque Nacional de las Islas Atlánticas de Galicia (PNIAG), que tiene

una superficie marina de 7285 ha y comprende los archipiélagos de Cies, Ons, Cortegada y Sálvora. Las tres especies objetivo son pulpo, sepia y calamar. En el PNIAG hay una explotación artesanal con nasas dirigida al pulpo. Esta pesquería está regulada en base a un tamaño mínimo (1 kg) y a un número máximo de nasas por embarcación, además de por un periodo de veda que comprende dos meses en el verano. La sepia se captura incidentalmente en trasmallos. El calamar se captura únicamente en pesca deportiva usando líneas de mano y poteras.

El objetivo de esta investigación es identificar y caracterizar hábitats de preferencia para la puesta y el alevinaje de las tres especies de cefalópodos con puestas bentónicas en el PNIAG, utilizando como zona de estudio el archipiélago de las Islas Cíes. A partir de esos estudios se pretende elaborar un plan de contingencia para la protección y conservación de dichas áreas. Aunque este método de gestión tiene algunas debilidades, como por ejemplo su delimitación y requerimiento de una estrecha vigilancia, está muy en consonancia con el punto de vista de la gestión de las pesquerías basada en el ecosistema, que es la tendencia más moderna y generalizada (Pikitch et al., 2004).

Las áreas marinas protegidas (AMP) en contraposición de lo que ocurre en las áreas explotadas, pueden asegurar para las pesquerías (Forcada, 2007): i) la protección de la calidad genética frente los efectos perjudiciales selectivos de la pesca; ii) una mejor protección frente al colapso del stock por la pesca o por la falta de reclutamiento natural; iii) una regeneración más rápida en caso de colapso del stock; iv) mantener las pesquerías de especies raras, tales como las de fácil captura o las que dependen de la estructura de sexos de la población; v) un lugar de protección para los individuos adultos con alta capacidad reproductora; vi) un aumento de la biomasa en zonas de pesca adyacentes debido a la dispersión de larvas; y vii) ofrecer un área de reclutamiento que permita el crecimiento de juveniles para su posterior emigración a zonas explotadas, y también la renovación de reproductores en el área marina protegida. Todo ello dependiendo de la movilidad y capacidad de desplazamiento de cada especie.

Material y Métodos

En el PNIAG el trabajo se desarrolla alrededor del archipiélago de las Islas Cíes (2658 ha), donde se diferenció entre cara este (interna o protegida) y oeste (externa o expuesta) de las islas. Toda la superficie marina se dividió en 80 cuadrículas de 33,2 ha cada una (Figura 1). Únicamente aquellas cuadrículas comprendidas entre 5-25 metros de profundidad (un total de 15) serán muestreadas a lo largo del proyecto. El trabajo de campo durará dos años, realizándose mensualmente cuatro censos visuales. Estos censos se realizan mediante buceo autónomo por dos buceadores, quienes describen la naturaleza del fondo y filman con una cámara subacuática de vídeo todo el recorrido. Para obtener datos de profundidad, temperatura, salinidad, turbidez, oxígeno disuelto y fluorescencia se utiliza un medidor de parámetros oceanográficos *in situ* (CTD) en cada punto de muestreo. Los datos obtenidos se almacenan en tres bases: una de imágenes, otra de parámetros hidrográficos y una tercera de observaciones e incidencias.



Figura 1. División en cuadrículas del área marina objeto de estudio: externas (E) e internas (I)

Resultados y Discusión

Hasta la fecha, y después de 11 meses desde el inicio del proyecto, se han realizado 41 inmersiones en las islas Cíes (Figura 2). En ellas, se ha constatado una elevada abundancia de pulpo alrededor de las tres islas del archipiélago (125 ejemplares). Desde abril del 2012, se localizaron un total de once hembras de pulpo con puesta (Figura 3), seis de ellas en la misma área, ubicada en la isla Norte entre 12 y 20 m de profundidad. El fondo está formado por grandes rocas, que dan lugar a cavidades de distintos tamaños. Abundan piedras de porte medio, que permiten a las hembras de pulpo tapar la entrada de sus guaridas (Figura 4). En dos ocasiones y en esta misma zona también se registró la cópula de una pareja de pulpos y una puesta de calamar adherida al techo de una oquedad rocosa (Figura 5). Esta área y este hábitat parecen ser idóneos para el desarrollo de las dos últimas fases de la reproducción del pulpo.

La superficie aproximada de esta zona de puesta es de 18,6 ha, lo que equivale a un 0,7 % de la superficie marina total de las islas Cíes comprendida dentro del PNIAG. Por otra parte, se ha constatado que el impacto pesquero en esta zona es uno de los mayores en todo el archipiélago. También en el caso del pulpo, se ha localizado una posible zona de alevinaje en las proximidades de la isla del Faro (zona de Viños). Es un área arenosa con presencia de acúmulos de roca en la que, en el mes de diciembre de 2012, se ha constatado la presencia de decenas de ejemplares de pulpo de un tamaño inferior a los 30 cm de longitud total. En el caso de la sepia, se han contabilizado un total de 42 ejemplares desde el inicio del estudio, y se han encontrado 14 puestas (Figura 6), localizadas 11 de ellas en la misma zona (zona de Viños) caracterizada por presentar un sustrato rocoso con abundancia de gorgonias, en donde las sepias fijan sus huevos, por lo que esta área y este hábitat también parecen ser idóneos para la puesta de sepia. La abundancia de puestas de sepia en el PNIAG es baja en comparación con otras zonas de la Ría de Vigo. Esto podría explicarse por la ausencia de fondos con fanerógamas marinas (*Zostera*), que sí hay en otras zonas de las Rías, y que suelen ser un hábitat preferente para la puesta de estos cefalópodos. Con respecto al calamar, se tiene constancia de que existe una abundancia de puestas en otras zonas de las Rías en sustratos naturales, pero se sabe que esa especie pone con asiduidad en sustratos artificiales, como cabos de fondeo o redes abandonadas. Con objeto de evaluar las zonas de preferencia para la puesta de sepia y calamar en Cíes, como complemento a los censos visuales, se han fondeando dos dispositivos agregadotes de cefalópodos (DACs) diseñados especialmente para estas especies.

Hasta la fecha no se han observado puestas en estos dispositivos. Este resultado puede deberse a dos motivos: 1) que los DACs estén en hábitats inadecuados, por lo que se ve necesario buscar nuevas ubicaciones; y 2) porque no hayan estado fondeados durante los periodos de máxima reproducción de ambas especies, por lo que se mantendrán hasta cubrir todo un ciclo anual.



Figura 2. Puntos de inmersión, fondeo de DACs y ubicación de las puestas de cefalópodos



Figura 3. Puesta de pulpo



Figura 4. Guardida de pulpo



Figura 5. Puesta de calamar



Figura 6. Puesta de sepia

Conclusiones

Después de once meses de investigación, ya se están definiendo áreas que cabrían ser consideradas de especial protección en el caso del pulpo y la sepia dentro del PNIAG. La protección de estos hábitats de preferencia para la puesta de estos cefalópodos ayudaría a restaurar y conservar estos ecosistemas que, en muchos casos, se están viendo afectados por la actividad humana debido a usos históricos de la actividad extractiva dentro de sus límites. Además, la protección de estas zonas no supondría una pérdida significativa de área de pesca, ya que la superficie de la potencial AMP no llegaría al 1% de la superficie marina del archipiélago. Asimismo, sería necesaria la creación de planes de gestión que integrasen las premisas adecuadas de protección, ya que existen en el mundo muchas AMP en las que su protección es muy insuficiente. En cualquier caso, todavía es necesario continuar con el estudio, ya que es indispensable completar el ciclo de muestreos anual para analizar los datos obtenidos en función de la estacionalidad, pues las tres especies objeto de estudio poseen picos reproductivos en épocas específicas del año.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Pepe Castro su trabajo y habilidad como patrón de las embarcaciones utilizadas en los muestreos. También agradecen a Alex Chamorro, Miguel Bao y Francisco de la Granda su asistencia en los muestreos con CTD y buceo autónomo. Asimismo, agradecen a las autoridades y técnicos del PNIAG su inestimable colaboración y apoyo.

Referencias

- Boletzky, S. V. 1983. *Sepia officinalis*. En: Boyle, P.R. (Ed.). Cephalopod Life Cycles, Vol. 1, Species accounts: 31-51. Academic Press. U.K.
- Boyle, P., Rodhouse, P. 2005. Cephalopods. Ecology and Fisheries. Blackwell Science. Oxford, U.K.
- Forcada, A. 2007. Evaluación de las Áreas Marinas Protegidas y su efecto en pesquerías artesanales del mediterráneo occidental. Tesis Doctoral de Universidad de Alicante. España
- Guerra, A. 1992. Mollusca, Cephalopoda. En: Ramos, M.A et al., (Eds.), Fauna Ibérica, vol. 1. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Madrid, España.
- Mangold, k. 1983. *Octopus vulgaris*. En: Boyle, P.R. (Ed.). Cephalopod Life Cycles, Vol. 1, Species accounts: 335-364. Academic Press. U.K.
- Pikitch, E. K., Santora, C., Babcock, E. A., Bakun, A., Bonfil, R., Conover, D. O., Dayton, P., Doukakis, P., Fluharty, D., Heneman, B., Houde, E. D., Link, J., Livingston, P. A., Mangel, M., McAllister, M. K., Pope, J., Sainsbury, K. J., 2004. Ecosystem-based fishery management. *Science* 305: 346–347.
- Sanchez, P., Demestre, M, Recasens, L. Maynou F., Martin, P. 2008. Combining GIS and GAMs to identify potential habitats of squid *Loligo vulgaris* in the Northwestern Mediterranean. *Hydrobiologia* 612: 91–98
- Schell, D. 2002. Characteristics of habitats used by *Enterocotpus dofleini* in Prince William Sound and Cook Inlet, Alaska. *Marine Ecology* 23: 185-2006.
- Worms, J. 1983. *Loligo vulgaris*. En: Boyle, P. R. (Ed.). Cephalopod Life Cycles, Vol. 1, Species accounts: 143-157. Academic Press. U.K.

***Architeuthis dux*: ÚNICA ESPECIE DE CALAMAR GIGANTE EN EL MUNDO**

Ángel GUERRA; Ángel F. GONZÁLEZ; Jorge HERNÁNDEZ-URCERA

Instituto de Investigaciones Marinas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Vigo. España

Resumen

Un reciente estudio revela que las 21 especies de calamar gigante descritas hasta la fecha en el mundo son realmente la misma especie: *Architeuthis dux*. En este artículo se expone la metodología utilizada para obtener estos resultados. Además, se comentan varios aspectos sobre la biología de esta especie que han sido publicados en los últimos años, exponiendo algunos de los conocimientos sobre este cefalópodo, como su distribución, edad, crecimiento, reproducción, hábitat y dieta.

Abstract

A recent study reveals that 21 giant squid species described to date in the world are really the same species: *Architeuthis dux*. This paper describes the methodology used to obtain these results. In addition, we discuss various aspects of the biology of this species published in recent years, exposing some of the knowledge of this cephalopod, as their distribution, age, growth, reproduction, habitat and diet.

Hasta la fecha, se habían descrito 21 especies nominales de calamar gigante (*Architeuthis*) en el mundo, pero se acaban de publicar los resultados una investigación en profundidad sobre su genética, que ha revelado que todas pertenecen a la misma especie: *Architeuthis dux* (Winkelmann et al., 2013). El estudio, en el que han participado científicos de Dinamarca, España, Francia, Portugal, Estados Unidos, Australia, Japón e Irlanda, ha estado financiado por la Universidad de Copenhague y se ha llevado a cabo en dos años.

El estudio denominado “La diversidad del genoma mitocondrial y de la estructura de población del calamar gigante: la genética arroja nueva luz sobre una de las especies marinas más enigmáticas”, se ha publicado en la prestigiosa revista *Proceedings of the Royal Society*. Se trata de un estudio pionero y de notable relevancia pues hasta la fecha no se había trabajado con biología molecular en estos organismos porque ello conllevaba notables dificultades técnicas. La información obtenida despeja una incógnita clásica y persistente en torno al calamar gigante, según la cual había en el mundo varias especies diferentes de *Architeuthis*. Los resultados son sorprendentes, pues *A. dux* muestra 20 veces menos variabilidad genética que poblaciones locales de otros calamares, y, además, se ha demostrado que un calamar gigante de Asturias podría aparearse con otro de Nueva Zelanda, por ejemplo, y tener descendencia fértil. Esto, viendo las diferentes formas geográficas que muestra esta especie parecía impensable, pero es así: se trata de una especie cosmopolita.

El calamar gigante es un invertebrado marino emblemático y los avances en las investigaciones sobre la especie son lentos. Hasta 2004 no se le pudo observar en su hábitat natural y hasta este año no se habían grabado las primeras imágenes de un calamar gigante vivo en el océano, lo cual ha conseguido Tsunemi Kubodera (Kubodera y Mori, 2005),

coautor en el artículo citado. En torno a la especie surgen numerosas preguntas y, para muchas de ellas, todavía no hay respuesta. No solo es necesario indagar en su genética, sino también en su edad y tasa de crecimiento, en su reproducción y comportamiento, pues ahí encontraremos la clave y podremos romper leyendas en torno a la especie que hacen que se confunda realidad y ficción. Se ha dicho, por ejemplo, que puede llegar a medir hasta 50 m y pesar 500 kg, cuando estudios recientes confirman que el tamaño máximo ronda los 18 metros y únicamente 220 kg de peso. También se pensaba que se trataba de una especie con una actividad lenta, y se ha observado que desarrolla una actividad depredadora notable.

El estudio que publica la *Royal Society* rompe, precisamente, con otro de los mitos acerca del calamar gigante: no hay 21 especies nominales y ni tan siquiera 5 ó 3 especies reales distintas en el mundo, sino una única especie con una amplísima distribución geográfica, donde la costa asturiana y gallega ocupan un lugar destacado por la presencia de cañones y fosas submarinas y procesos oceanográficos (los afloramientos) que las hacen muy productivas. Para llegar a las conclusiones que se exponen en ese trabajo, los científicos realizaron un estudio pormenorizado de la genética del calamar gigante. A grandes rasgos, el estudio consistió en la extracción y análisis del ADN mitocondrial de 43 muestras de tejidos blandos de calamares gigantes. Las muestras se obtuvieron de restos aparecidos en estómagos de cachalotes o de ejemplares que llegaron recién muertos a las costas de Asturias, Galicia, Valencia (España), Florida (USA), Japón, Canadá, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda. Los científicos obtuvieron 37 secuencias metagenómicas completas y seis parciales, cuyo análisis reveló que eran muy similares y, comparadas con las de otras especies como el pez espada o la orca, con variaciones genéticas notablemente bajas, aunque parecidas a la que muestra el tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*) o el cachahole (*Physeter macrocephalus*), que es el mayor depredador de calamares gigantes. Los análisis genéticos muestran que no hay estructura poblacional, es decir, sugieren que todos los calamares gigantes de esta especie forman parte de una enorme población, y que, desde una perspectiva geográfica, no hay ninguna barrera que impida su apareamiento. Este resultado es destacable en una especie cuya forma corporal varía de unas regiones del globo a otras y habita en todos los océanos excepto en los polos.

Los investigadores continuarán sus estudios para confirmar estos resultados analizando el ADN del núcleo de las células del calamar gigante, con objeto de estar seguros de que las semejanzas encontradas usando el ADN de las mitocondrias no son resultado de la evolución. Si con el ADN nuclear se producen los mismos resultados, se estaría ante un expansión geográfica relativamente reciente de la población de *A. dux*, la cual podría haber sido originada bien por un descenso importante de sus depredadores o por un aumento del número de presas, y, además, debido a que la capacidad de dispersión de los recién nacidos y juveniles de esta especie es muy elevada, habiéndoles permitido desplazarse aleatoriamente y a largas distancias.

Quedan todavía una gran cantidad de incógnitas por contestar, pero durante los últimos años se ha ahondado en la biología de *A. dux*, por lo que aquí expondremos algunos de los conocimientos sobre este cefalópodo, centrándonos en su distribución, edad, crecimiento, reproducción, hábitat y dieta.

Pese a tratarse de un molusco cosmopolita, presenta una **distribución** agregada (figura 1); ello podría deberse al sesgo de un muestreo insuficiente o al hecho de que los calamares gigantes están asociados a las mayores corrientes oceánicas, que aproximarían ejemplares muertos o moribundos a zonas costeras donde son avistados (Guerra y González, 2010). Se

cuenta sólo con registros de capturas accidentales en distintas pesquerías, avistamientos esporádicos de animales flotando en superficie, varamientos en las costas, normalmente hallados por casualidad, o restos encontrados en el estómago de sus principales depredadores. Estos datos, amén de fraccionarios, no ofrecen fiabilidad suficiente para definir con precisión la biogeografía de *A.dux*. (González et al., 2002).



Figura 1. Distribución mundial de los registros de *Architeuthis dux* (Dibujo de M. Uhía)

En cuanto a la **edad y las tasas de crecimiento**, se han estimado sólo en seis ejemplares de *A. dux*: tres machos maduros con tallas comprendidas entre 97,5 y 108 cm de longitud del manto (LM), capturados en Irlanda en 1998, y tres hembras inmaduras de 42, 103 y 161 cm de LM capturadas en Australia, Asturias y Nueva Zelanda, respectivamente. Los estudios se realizaron a partir del análisis de las bandas de deposición o incrementos de crecimiento de sus estatolitos (concreciones calcáreas). Las secciones de esas estructuras guardan semejanza, en anchura de los incrementos y orientación, con las de otros calamares de menor tamaño. Si, como acontece en otros cefalópodos, la deposición de esos incrementos es diaria, su esperanza de vida no sobrepasaría los cinco años; su tasa de crecimiento variaría entre 2,60 y 4,68 mm de LM al día para un macho y para una hembra, respectivamente. Estaríamos hablando de una de las mayores tasas de crecimiento en el ámbito marino. Sin embargo, Landman et al. (2004), del Museo de Historia natural de Nueva York, presentaron en un estudio etario basado en el análisis isotópico de carbono y oxígeno. Los resultados, sorprendentes y contradictorios, trastocaron las teorías sobre el ciclo biológico de estos gigantes. Para una hembra cuyos incrementos de crecimiento de los estatolitos indicaban un año de edad, el análisis isotópico sugirió una edad aproximada de 14 años. (No obstante, esos resultados deben interpretarse con precaución; se asumieron demasiadas premisas sobre el cambio isotópico en la columna de agua, el rango de profundidades en el que medran estos calamares y el patrón de crecimiento de sus estatolitos.).

Los trabajos de laboratorio y de campo sugieren para los cefalópodos un ritmo de crecimiento rápido. Sin embargo, dada la escasez de datos sobre la relación entre el tamaño, la edad y el crecimiento del *A.dux*, las cuestiones que atañen a la longevidad y la tasa de crecimiento de los calamares gigantes siguen abiertas. Considerando que, como hemos observado en el calamar común *Loligo vulgaris*, se infravalora el número de anillos de crecimiento en los

estanolitos (las bandas más nuevas son de difícil discernimiento por su proximidad, sobre todo en ejemplares adultos), una longevidad de entre 3 y 4 años sería razonable; en cambio, los tres lustros de edad que proponen los análisis isotópicos nos parecen excesivos. En un estudio teórico sobre el tiempo que se requeriría para alcanzar la masa corporal de un *Architeuthis* adulto, Grist y Jackson (2007), comprobaron que el rango de valores posibles para la esperanza de vida de un calamar gigante es amplio. Concluyeron también que, según el principio de conservación de la energía, el logro de un tamaño grande requiere un crecimiento lento exponencial desde el inicio de la vida. Asimismo, macho y hembra de *A. dux* parecen seguir modelos de crecimiento distintos, lo que sugiere la existencia de diferencias conductuales sexuales.

En lo que se refiere a su **reproducción**, la fecundidad de *A. dux* depende del tamaño de la hembra (Hoving et al., 2004). Oscila entre 3,5 y 10 millones de ovocitos de tamaño reducido (entre 0,20 y 2,52 mm). Presentan un único ciclo ovárico, desovan una vez durante su corta vida y mueren después de este único desove. Dada su alta fecundidad potencial y la capacidad limitada de sus dos oviductos, lo más probable es que las hembras pongan los huevos en varias tandas a lo largo de su vida, es decir, que sean frezantes intermitentes. Se desconoce la forma de la puesta de *A. dux*. Quizá las hembras dejan a merced de las corrientes una masa de huevos flotante y gelatinosa, esférica o cilíndrica, como ocurre en numerosos omastrefidos (potas) y el calamar losange *Thysanoteuthis rhombus*. Las hembras podrían también transportar la masa de huevos entre sus brazos, como se ha observado en *Gonatus onyx*. Así se explicaría el mayor tamaño de las hembras de *A. dux* en comparación con los machos. A juzgar por el tamaño de los ovocitos maduros, los recién eclosionados de las especies de *A. dux* no superarían los 2,5 mm de longitud. Estas paralarvas, semejantes al adulto aunque distintas en sus proporciones corporales, forman parte del zooplancton durante algún tiempo, siendo arrastradas por las corrientes. A medida que el animal crece, aumenta su capacidad para migrar en la columna de agua y nadar, transformándose en un juvenil que adopta de forma paulatina el hábitat de los adultos. Los machos alcanzan tallas menores que las hembras y maduran a tamaños inferiores que éstas. Como en los demás cefalópodos, los espermatozoides se empaquetan y rodeados por membranas, dan lugar a los espermatóforos. La longitud de los espermatóforos está comprendida entre 110 y 150 mm.

En el Atlántico nordeste se han registrado sólo nueve machos desde 1952 hasta la fecha. Todos funcionalmente maduros; cuatro con espermatangios (espermatóforos transformados después de la cópula) embebidos por debajo de la epidermis de varios de sus brazos y en el propio manto, pero cercanos a su abertura. Se desconoce el origen de estos espermatangios. Podría tratarse de una inyección de esperma entre machos. Podría deberse también a la intromisión de un tercer macho en la cópula entre dos ejemplares de sexo distinto o a una autoinseminación accidental producida cuando un macho copula con una hembra, la explicación más plausible. Si suponemos las pautas reproductoras de otros calamares de menor tamaño, la cópula de los calamares gigantes debería producirse con el macho situado por debajo y en posición paralela a la hembra o cabeza contra cabeza (la opción más común). Los machos de *A. dux* utilizan su largo y flexible pene para colocar los espermatóforos en las hembras durante la cópula, pudiendo alcanzar brazos y distintas partes del cuerpo de ésta (Norman y Lu, 1997).

Se capturaron en el sur de Australia, a entre 500 y 1000 m de profundidad, dos hembras maduras de *A. dux* fecundadas. Presentaban espermatangios embebidos por debajo de la epidermis y en la capa externa de músculo de los dos brazos ventrales, así como en la parte anterior de su cuerpo. La inserción de los espermatangios en el tejido podría explicarse por la

morfología del pene de *A. dux*, que permite expulsar con gran fuerza los paquetes de espermatozoides, inyectándolos a tal presión, que podrían producir una hendidura en la epidermis, por la cual penetrarían en la musculatura externa del manto o de los brazos. Sin embargo, no se han observado ese tipo de heridas externas en el cuerpo o brazos de las hembras.

¿Cómo entra el espermatozoides en contacto con los ovocitos maduros para fecundarlos? De acuerdo con cierta hipótesis, la hembra usaría sus mandíbulas, o las ventosas, para desgarrar la piel sobre los espermatangios y liberarlos. Según otros, la piel de la hembra experimentaría un proceso degenerativo en los lugares de la implantación justo antes de la puesta, de modo que los espermatangios quedarían al descubierto. Por fin, otros sugieren que los espermatangios migrarían hacia la superficie de la piel bajo la influencia de enzimas proteolíticas y se desplazarían hasta el interior de la cavidad del manto cerca de la salida del oviducto; allí soltarían los espermatozoides para fecundar los ovocitos (Guerra et al., 2006).

En cuanto al **hábitat y la dieta**, la información sobre paralarvas y juveniles de *A. dux* se reduce a 15 ejemplares: uno de 10 mm, aparecido en plancton de Australia, y 14 capturados en aguas templadas y superficiales de Nueva Zelanda. Asimismo, se recolectaron cerca de la costa de Chile y Madeira dos juveniles de 45 y 57 mm, respectivamente (ambas en el estómago del espadarte *Alepisaurux ferox*); se pescó en aguas templadas superficiales de Japón un ejemplar de 19,8 mm y un juvenil en aguas de la corriente del Golfo. Al parecer, las paralarvas y los juveniles del calamar gigante son epipelágicas y se transportan en superficie por corrientes cálidas, tal como sucede con otras especies de calamares y potas. Desde hace más de dos siglos se sabe que los cefalópodos suelen acercarse a la superficie durante la noche y desaparecer luego durante el día. Estos desplazamientos verticales, a veces de varios centenares de metros, han servido para agrupar a las especies según su rango de distribución. En sus fases tempranas (paralarvas y juveniles), *A. dux* presenta un hábitat epipelágico y mesopelágico; los adultos medran en profundidades mesopelágicas y batipelágicas. Un descenso ontogénico tal concuerda con las variaciones de concentración de elementos traza (fósforo y selenio) halladas en sus mandíbulas (picos). Los análisis de isótopos estables (carbono y nitrógeno) corroboran también esa hipótesis, al tiempo que revelan la existencia de un cambio en su dieta: de presas ubicadas en el nivel inferior de la red trófica a presas de niveles superiores (Guerra et al., 2010).

La dieta de los *A. dux* adultos incluye otros cefalópodos pelágicos y una proporción notable de peces (jurel y gádidos en aguas de Irlanda y Asturias, y presas equivalentes en Namibia y Nueva Zelanda). El análisis de los 20 contenidos estomacales que se han estudiado hasta la fecha en todo el mundo indica que *A. dux* es un depredador voraz de un alto nivel trófico, y que se alimenta de especies con buena capacidad de natación que forman bancos (Regueira et al., 2013). El nivel trófico que ocupa en su ecosistema no depende ni del sexo, no del tamaño ni de la localidad geográfica, es decir, es homogéneo en todo su rango de distribución geográfica y para tamaños comprendidos entre 24 y 220 kg. Parece ser que su estrategia trófica es la propia de un animal que caza al acecho.

Las variaciones de la composición isotópica de carbono en el pico o mandíbulas de calamares gigantes de Asturias y Namibia manifiestan que *A. dux* habita sobre todo en áreas de alta productividad marina. Parecen tener un comportamiento sedentario, al menos en la etapa adulta. Un análisis reciente de 14 elementos traza en los tejidos de *A. dux* de aguas mediterráneas y atlánticas españolas puso de manifiesto que la glándula digestiva y los corazones branquiales son los órganos con mayor concentración de plata, cadmio, cobalto, cobre, hierro, níquel, selenio, vanadio y zinc. Los músculos mostraron, a excepción del

mercurio, concentraciones bajas de elementos traza. Sin embargo, presentaron la mayor de arsénico, cromo, mercurio, níquel y zinc (los músculos representan la mayor parte de la masa de calamar). En breve, el metabolismo metálico es el mismo que el hallado en otros cefalópodos de aguas neríticas.

En las hembras, la concentración de zinc aumentó en la glándula digestiva con el peso del ejemplar, lo que refleja cambios fisiológicos durante la maduración sexual. Al comparar las concentraciones de elementos traza en esos tejidos, los valores superiores de plata, cobre, mercurio y zinc en los ejemplares del Mediterráneo reflejaron distintas condiciones de exposición respecto al Atlántico. En comparación con otros calamares mesopelágicos del golfo de Vizcaya, las concentraciones de cadmio registradas en la glándula digestiva sugieren que *A. dux* se habría alimentado de presas más contaminadas; también podría deberse a una longevidad mayor que la de otros cefalópodos. Esos datos, junto con la función clave que desempeña la temperatura en la variación de la tasa de crecimiento de los calamares, reflejada en sus estructuras duras como los estatolitos, el pico o la pluma, convierten al cefalópodo en excelente bioindicador y modelo para el estudio del cambio climático global y la contaminación antropogénica en procesos fisiológicos, de reclutamiento y de variaciones de biomasa (Guerra et al., 2011).



Figura 2. Angel Guerra y Luis Laria disecando y preparando una hembra joven de *Architeuthis dux* de 12 metros de longitud total en el Museo del Calamar Gigante (Luarca, Asturias)



Figura 3. Angel Guerra y Ángel F. González disecando y preparando un macho adulto de *Architeuthis dux* de 6 metros de longitud total en el Museo del Calamar Gigante (Luarca, Asturias)



Figura 4. Detalle de las ventosas córneas y dentadas de la maza tentacular de un *Architeuthis dux*

Referencias

- González, A.F., Guerra, A., Rocha, F., Gracia, J. 2002. Recent findings of the giant squid *Architeuthis* in Northern Spanish Waters. *Journal of the Marine Biological Association United Kingdom*, 82: 859-861.
- Guerra, A., González, A.F. 2010. Ecofisiología del calamar gigante. *Investigación y Ciencia*, Mayo: 45-54.
- Guerra, A., González, A.F., Pascual, S., Dawe, E.G. 2011. The giant squid *Architeuthis*: An emblematic invertebrate that can represent concern for the conservation of marine biodiversity. *Biological Conservation*, 144: 1989-1997.
- Guerra, A., González, F., Rocha, F., Laria, L., Gracia, J. 2006. Enigmas de la ciencia: el calamar gigante. Fundación Caja Rural de Asturias e Instituto de Investigaciones Marinas (CSIC). Vigo, España.
- Guerra, A., Rodríguez-Navarro, González, A.F., Romanek, Ch.S., Álvarez-Lloret, P., Pierce, G.J. 2010. Life-history traits of the giant squid *Architeuthis dux* revealed from stable isotope signatures recorded in its beaks. *Journal of Marine Science*, 67: 1425-1431.
- Grist, E.P.M., Jackson, G.D. 2007. How long would it take to become a giant squid?. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17: 385-399.
- Hoving, H.J.T., Roeleveld, M.A.C., Lipinski, M.R., Melo, Y. 2004. Reproductive system of the giant squid *Architeuthis* in Southern African Waters. *Journal of Zoology*, 264: 153-169.
- Kubodera, T., Y., Mori, K. 2005. First-ever observations of a live squid in the wild. *Proceedings of the Royal Society B*, 272: 2583-2586.
- Landman, N.H., Cochran, J.K., Cerrato, R., Mak, J., Roper, C.F.E., Lu, C.C. 2004. Habitat and age of the giant squid (*Architeuthis sanctipauli*) inferred from isotopic analyses. *Marine Biology*, 144: 685-691.
- Norman, M.D., Lu, C.C.. 1997. Sex in giant squid. *Nature*, 389: 683-684.
- Regueria, M., Belcari, P., Guerra, A. 2013. What does the giant squid *Architeuthis dux* eat in Iberian Waters? *Hydrobiologia* (en prensa).
- Winkelmann, I., Campos, P.F., Strugnell, J., Cherel, Y., Smith, P.J., Kubodera, T., Allcock, L., Kampmann, M.L., Schroeder, H., Guerra, A., Norman, M., Finn, J., Ingrao, D., Clarke, M., Gilbert, T.P. 2013. Mitochondrial genome diversity and population structure of the giant squid *Architeuthis*: genetics sheds new light on one of the most enigmatic marine species. *Proceedings of the Royal Society B*, 280: 1471-2954.

EL AGUA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Antonio M. MARTÍNEZ GRAÑA¹; José GOY¹; Caridad ZAZO²

¹ Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. Salamanca. España

² Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid. España

Resumen

El agua constituye un agente geodinámico externo que en cualquiera de sus tres estados (sólido, líquido y gas) condiciona y modela la superficie terrestre e influye directamente en el cambio climático. Este trabajo muestra como el litoral de Galicia, al igual que otras regiones costeras, está influenciada por las características climáticas, las cuales han variado a lo largo del tiempo geológico, sobre todo durante el Cuaternario, desde hace unos 2,5 millones de años. Los criterios astronómicos que confirman la ciclicidad climática de Milankovich, provocan el ascenso y descenso del nivel medio del mar en el litoral gallego y su registro queda plasmado en las diferentes morfologías y depósitos sedimentarios que aparecen repartidos por el litoral gallego, mostrando las diferentes posiciones de las paleolíneas de costa y la disposición paleogeográfica del litoral condicionada por la alternancia de épocas glaciares-interglaciares, el trazado de fracturas antiguas y reajustes más recientes con movimiento relativo de los bloques tectónicos, generando entrantes y salientes costeros, sobre los que se disponen depósitos arenosos de playas fósiles, sistemas dunares, playas...y morfologías erosivas de rasas, plataformas de abrasión actuales y socaves.

Abstract

Water is an external geodynamic agent in any of its three states (solid, liquid and gas) conditions and land surface models and directly influences climate change. This work shows how the coast of Galicia, as well as other coastal regions is influenced by the climatic conditions, which have changed over geologic time, especially during the Quaternary, for about 2.5 million years. . Astronomical criteria confirming Milankovich climate cyclicity, cause the rise and fall of sea level in the Galician coast and registration is reflected in the different morphologies and sedimentary deposits are scattered around the Galician coast, showing the different positions the paleolines of coastline and coastal paleogeographic arrangement conditional on the alternation of glacial-interglacial periods, plotting and old fractures most recent adjustments relative motion of tectonic blocks, generating inbound and outbound coastal, on which have sandy deposits fossil beaches, dune systems, beaches ... and shallow erosive morphologies, abrasion platforms and cavities.

Introducción

La Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el año 2013, Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua, considerándose un recurso vital necesario para la supervivencia del hombre. El agua es un agente geodinámico externo y su estudio presenta una gran multidisciplinariedad, desde el análisis de la hidrología superficial que permite realizar análisis de cuencas hidrográficas, morfometría de redes de drenaje, calculo de caudales, velocidades de flujo... todo lo cual es muy útil en la planificación de recursos renovables (minicentrales hidráulicas) y en la ordenación racional del territorio y sus usos del suelo (riesgos de inundación); hasta el análisis de la hidrología subterránea o hidrogeología,

que permite localizar y calcular el volumen de acuíferos en zonas más o menos permeables, a diferentes profundidades y litologías.

El agua como agente geodinámico interviene de forma decisiva en los procesos de erosión, transporte y sedimentación, siendo el causante directo de gran variedad de modelados o sistemas morfogénicos repartidos por todo el planeta Tierra. Las aguas de mares y océanos configuran las diferentes formas y depósitos litorales, dando lugar al modelado litoral (rías, lagunas costeras, playas...). Las aguas continentales provocan la meteorización y alteración de los diferentes afloramientos rocosos generando diferentes modelados litológicos (modelado granítico, volcánico y cárstico), modelados fluviales (valles fluviales, llanuras de inundación, terrazas, cauces...), modelado glaciar (valles glaciares, morrenas...) así como procesos activos de tipo gravitacional (deslizamientos, desprendimientos...), erosivo (cárcavas, surcos...), etc.

Actualmente algunas actividades humanas pueden alterar la calidad de las aguas, provocando su contaminación, por lo que los estudios sobre la hidrología superficial y subterránea tratan tanto la cantidad como la calidad del recurso hídrico, de forma que aunque antaño el problema era la falta de agua, hoy en día el problema no es encontrar agua, sino encontrara agua con calidad para el uso humano o aguas de fácil potabilidad. La posición geográfica de Galicia condiciona las condiciones climáticas (precipitaciones y temperaturas) y consecuentemente su paisaje.

Pero, ¿cuáles son las relaciones entre el agua y el clima del planeta? ¿Podemos establecer una relación entre el agua y el cambio climático? Vamos a intentar responder a estas preguntas. Podemos establecer una relación directa entre el estado sólido y líquido del agua y la temperatura, de forma que en las épocas de temperaturas más bajas o más frías de la historia de la Tierra, gran parte del agua estaría en estado sólido: hielo (periodo glaciar) y en las épocas de temperaturas más altas o cálidas estaría estado líquido (periodo interglaciar). Desde antaño, la localización de paleosuelos y restos de flora en medio de grandes espesores de materiales depositados por el hielo, morrenas, hizo pensar en la alternancia de épocas frías con avance de las masas de hielo por el continente y épocas cálidas con retroceso de los hielos en la superficie de los continentes y retirada a las partes de mayor latitud (círculos polares) y de mayor altitud (glaciares de montaña). El simple análisis del balance del ciclo de agua a nivel del planeta, hace pensar que en los periodos fríos grandes volúmenes de agua se acumulaban sobre los continentes en forma de nieve y hielo, por lo que los grandes reservorios de agua del planeta, los mares y océanos, presentaban menos cantidad de agua, ya que se quedaba en los continentes en forma sólida, lo cual nos permite pensar que el nivel medio del mar descendía. En cambio en los periodos cálidos, estas grandes masas glaciares continentales sufrían deshielo y las aguas generadas iban a desembocar al mar lo cual generaba un aumento del nivel del mar. La glacioeustasia relaciona el avance-retroceso de las masas glaciares en los continentes con los ascensos-descensos del nivel del mar.

Aunque estas etapas glaciares-interglaciares se han alternado a lo largo de la historia de la Tierra, durante la historia geológica más reciente, el Cuaternario. El Cuaternario es la última subdivisión de la escala de tiempo geológica (Periodo Cuaternario) cuya inicio queda fijado hace 2,5 ma. El Periodo Cuaternario se encuentra subdividido en dos épocas, o series estratigráficas, el Pleistoceno y el Holoceno, éste último representa los últimos 11700 años y es el presente periodo interglaciar. Durante el Periodo Cuaternario tiene lugar la aparición del primer representante conocido del Género Homo (*Homo habilis*) en África Oriental hace aproximadamente 2,4 ma.

Profundizando en la relación Agua-Clima, a lo largo de la historia de la Tierra podemos distinguir alternancias temporales de decenas a centenas de millones de años, separadas por grandes episodios de enfriamiento denominados *Eras Glaciares* y dentro de éstas se diferencian periodos temporales más pequeños denominados *Épocas Glaciares* (algo más de 1 ma), destacando la época Carbonífera (aproximadamente 359 ma) y la época Cuaternaria. Analizando en detalle las variaciones climáticas en la actual Época Glaciar Cuaternaria podemos diferenciar (Pedraza, 1996):

1. Avances y retrocesos absolutos de hielos que abarcan de miles a decenas de miles de años, llamándose *Etapas Glaciar –Interglaciar*, al avance y retroceso respectivamente.
2. Avances y retrocesos relativos mayores de hielos que dentro de los avances-retrocesos absolutos, representan un cambio de tendencia, y constituyen lapsos de centenas a miles de años, llamándose *Subetapas Estadial –Interstadial*, al avance y retroceso respectivamente.
3. Avances y retrocesos relativos menores de hielos que dentro de los estadiales e interstadiales, representan una pequeña variación de la tendencia general de enfriamiento-calentamiento, y tienen una duración de decenas a cientos de años, llamándose *pulsaciones*, las cuales se pueden detectar por morfologías y depósitos sedimentarios. Un ejemplo estudiado de pulsación es el avance generalizado de los hielos en el Hemisferio Norte en el siglo XVI, o la pulsación cálida que facilitó a los vikingos la conquista de Groenlandia (750-1150 años dC) y su correspondiente pulsación fría que les obligó a retirarse (1150-1350 dC)
4. Avances y retrocesos continuos de hielos que ocurren cada pocos años, denominadas *oscilaciones*.

El Periodo Cuaternario se encuentra caracterizado por lo tanto por la alternancia de periodos glaciares e interglaciares condicionados fundamentalmente por la variación de los parámetros astronómicos (Parámetros de Milankovich) de excentricidad (ciclos de 100000 años), inclinación (ciclos de 17000 años) y precesión-cabeceo-nutación de la órbita terrestre (ciclos de 26000 y 10000 años). Estos ciclos astronómicos se ajustan a los ritmos glaciares de etapas-subetapas-pulsaciones. Estos ciclos quedan confirmados con la definición de la curva de variaciones climáticas establecidas en base a las variaciones de las relaciones isotópicas O^{18}/O^{16} (δO^{18}) extraídas de la composición química de los caparzones calcáreos de microfauna marina (foraminíferos) en sondeos oceánicos profundos de registro continuo. En la Actualidad, y a nivel práctico, es muy común utilizar la estratigrafía de los estadios isotópicos marinos al referirnos a las diferentes subdivisiones del Cuaternario (Bardaji, 2009). Los números impares representan periodos cálidos -interglaciares o interstadiales- y los números pares se refieren a los periodos fríos -glaciares o estadiales- (figura 1).

Material y Métodos

La relación de Galicia con el agua es doblemente importante, por un lado el relieve, su modelado de formas y depósitos, así como su paisaje está controlado por las características climáticas (precipitaciones-temperaturas), y por otro por la cercanía e influencia de una gran masa de agua: el mar. Las zonas costeras tanto del litoral atlántico como cantábrico gallego son sectores que están altamente poblados y presentan un gran desarrollo industrial que condiciona la economía y el buen desarrollo de actividades que directa o indirectamente están relacionadas con la franja costera (pesca, turismo, urbanismo...).

No obstante tal como hemos visto en el apartado anterior, las fluctuaciones climáticas han influido a lo largo del Cuaternario en el interior de Galicia pero de forma notoria en el litoral costero, ya que el nivel del mar no ha permanecido constante durante el Cuaternario, sino que ha avanzado (transgresión) o retrocedido (regresión) a lo largo del tiempo afectando a la franja costera. Dada la ciclicidad de los cambios climáticos y su relación con el volumen de las aguas oceánicas y por tanto por su influencia en el aumento-descenso del nivel del mar, debemos conocer la historia cuaternaria más reciente para poder establecer, a partir de las claves del pasado el futuro más cercano.

Los estudios sobre los depósitos marinos del litoral de Galicia, son muy escasos y puntuales, particularmente en lo que se refiere a los cambios del nivel del mar durante el Cuaternario. En el litoral gallego cantábrico (Alonso y Pagés, 2000) se sintetizan las relaciones estratigráficas existentes entre los diferentes depósitos marinos y continentales del Pleistoceno Superior-Holoceno en el tramo costero entre Ribadeo (Lugo) y Caamaño (Coruña). Se describen tres formaciones diferentes que afloran de forma puntual a lo largo de la costa: La Formación de Fazouro, correspondiente a paleoplayas del Último Interglacial (U.I), la Formación de Arnela-Nois, constituida por depósitos de ladera, con una secuencia máxima de tres aportes, separados por paleosuelos, que se desarrollan entre los > 38000 años antes de la actualidad (*Before Present*, bp) y los ca. 25000 bp; y la Formación Moreiras caracterizada por depósitos fluviales, datadas entre 24410 bp y 15950 bp. La secuencia holocena está caracterizada por el desarrollo de turberas a partir de los 4300 bp en la costa atlántica.

En la sección de Caamaño, Trenhaile et al. 1999, sobre un corte de unos 8 m de potencia, describen sobre unos conglomerados marinos cementados por óxidos de hierro "correspondientes probablemente al U.I", varios niveles continentales separados por niveles de dique periglaciario, que comenzarían a desarrollarse a partir de los 36050 bp. No hay estudios sobre neotectónica en relación con los depósitos cuaternarios, en general se asume que la costa gallega ha permanecido estable durante la mayor parte del Cuaternario (Pérez Alberti et al. 1998).

Este trabajo identifica en los alrededores de la Ría de Arosa (figura 2), la existencia de formas continentales y depósitos marinos correspondientes al Cuaternario una serie de formas y depósitos costeros que permiten establecer oscilaciones de las variaciones del nivel del mar en el límite de las provincias de Pontevedra y La Coruña.

Identificación de Formas y Depósitos

A lo largo de la playa de Pociñas (figura 3) observamos depósitos dunares, D, constituidos por tres secuencias (D₁, D₂, D₃) separados por niveles de paleosuelos siendo el más desarrollado el que separa las unidades D₂ y D₃. Se trata de dunas rampantes migrando hacia el WNW. Estos depósitos arenosos son erosionados parcialmente por depósitos de ladera de poco espesor. Se observan cómo las secuencias dunares descansan sobre una playa fósil, conglomerado marino azoico muy cementado por óxidos de hierro, afectado por una falla normal de dirección N160°E. Esta fractura es la responsable de que en el bloque elevado el nivel de playa fósil aparezca a una altura de + 3 m. (máximo transgresivo del episodio marino) y en el bloque hundido aparezca a +0.5 m. sobre el nivel medio del mar en este sector. En esta misma playa, observamos las relaciones entre el nivel marino y un abanico aluvial continental pre-episodio marino. También aparecen restos de una pequeña rasa situada a + 1m labrada sobre los materiales metamórficos, y encajada en los conglomerados marinos

ferruginizadas que corresponden al máximo de la transgresión holocena Flandriense, hace aproximadamente 10000 años (figura 4).

En la Punta de Montalvo, también sobre sustrato metamórfico, se asientan unos conglomerados que a techo pasan a niveles arenosos, correspondientes a una paleoplaya que rellena socaves, cuyo máximo transgresivo se sitúa a los +3.5 m. Cuatro sistemas de coluviones (C1, C2, C3) fosilizan el nivel marino. A pocos metros, en una cala próxima, sobre los materiales metamórficos se observan restos del depósito marino a unos +5.5 m, recubiertos también por la secuencia de coluviones, pero en este caso tan solo los correspondientes a las unidades C3 y C4. Este dispositivo anómalo es consecuencia del rejuego de una falla de dirección N160°E cuyo plano y estrías verticales son actualmente visibles en el bloque levantado de la misma (Martínez-Graña et al, 2000).

Las dataciones sobre los depósitos marinos ferruginizados son inexistentes, dada la ausencia de fauna; no obstante su posición estratigráfica con relación a los depósitos continentales suprayacentes, que si bien no han sido datadas en las secuencias analizadas, si lo han sido en costas muy próximas (Caamaño) y con edades de 36000 bp (Trenhaile et al. 1999) y > 38000 bp (Alonso y Pagés, 2000) en otras partes del litoral atlántico, para el inicio de la sedimentación de los mismos, sugiere una edad del Ultimo Interglacial, estadio isotópico 5 - OIS- (oxygen isotope stages), para los conglomerados marinos foraminizados; en cualquier caso se trataría de una paleo-playa Pre-Última Glaciación, como límite temporal superior.

En la Península Ibérica y a nivel global, un nivel marino superior al actual, durante el Cuaternario se registraría durante el Subestadio isotópico 5e (135-117000 años) y el estadio isotópico 11 (420-380000 años), para el primero con una media global de 2-3 m, y para el segundo se apunta hoy en día la idea de unos 20 m por encima del nivel del mar actual (Hearty, 1999). Dadas las características geodinámicas del área de estudio, asimilamos los depósitos conglomeráticos marinos al estadio isotópico 5e. Rasas y socaves encajados en los anteriores depósitos corresponderían a la transgresión holocena. Los depósitos continentales dunas y coluviones que suprayacen directamente a los conglomerados marinos, debieron generarse durante el último período Glacial, teniendo en cuenta que las dataciones de C-14, por el método convencional, con edades de 35000 años están fuera del método o en el límite, lo que hace suponer que en realidad correspondan a edades más antiguas pero dentro del Würm.

Los procesos tectónicos cuaternarios o neotectónica, en este sector de la costa gallega, Punta de Montalvo y Playa Pociñas (Martínez-Graña et al., 2000), muestran fallas con dirección N160°E, con movimiento en la vertical, que desplazan unos 2 metros los depósitos marinos correspondientes al Ultimo Interglacial (U.I), estadio isotópico 5e. En la Punta de Montalvo, el plano de falla labrado sobre micaesquistos conserva algunas estrías que sugieren el desplazamiento en la vertical en época reciente, de tal forma que la playa marina del U.I se sitúa en el bloque hundido a +3.5 m estando recubierta por cuatro secuencias de depósitos coluvionares (C1, C2, C3 y C4), mientras que en el bloque levantado, la playa se localiza a + 5.5 m y solo es fosilizada por las dos últimas secuencias de coluviones. Por consiguiente, el desplazamiento en la vertical a lo largo del plano de falla, parece haberse "detenido" al inicio del desarrollo del coluvión C3. Se observan en los afloramientos de los acantilados estructuras sedimentarias en los depósitos del coluvión C3, tales como "micro-diapiros" resultantes de la inyección de materiales finos en los sedimentos groseros, arenas y cantos suprayacentes; "micro-cabalgamientos" en direcciones oblicuas a la dirección de la pendiente deposicional del coluvión en los niveles de cantos y arenas; así como verticalización de cantos, podrían

corresponder a estructuras de paleosismicidad; lo que indica que la actividad neotectónica se mantendría como mínimo durante el depósito del coluvión C3. En la Playa Pociñas la actividad de la falla N160° controla la altura actual de los depósitos marinos del U.I. y el número de secuencias dunares a un lado y otro de la misma (Martínez-Graña et al., 2000). Otros niveles marinos cementados holocenos los podemos observar en la Isla de Arosa, bajo el tómbolo que une la antigua isla central con el sector sur del espacio natural de Punta Carreirón; y en la ensenada de O Grove aflorando en su intermareal (figura 4).

Igualmente se pueden observar las actuales plataformas de abrasión que indican el actual nivel medio del mar, pero se observan morfologías en los salientes costeros (penínsulas) que establecen diferentes niveles estables de antiguas plataformas de abrasión, hoy elevadas y que permiten conocer la cota relativa del nivel marino en épocas recientes. Un ejemplo de esto lo constituye el nivel de rasa de Punta Fagilda (+12 m), o el sistema de rasas próximas a la playa de La Lanzada (Ermita de La Lanzada), donde se observan hasta tres niveles diferenciados de superficies, actualmente en estado de degradación por el propio retroceso del acantilado costero.

Esta actividad neotectónica se puede comprobar en otros sectores cercanos, como en el NO de Portugal han sido reconocidos (Granja et al. 1999) en depósitos de edad Pleistoceno Superior de menos de 30000 años y holocenos, que han sido datados por OSL (Optically Stimulated Luminescence) y por C-14. Dichos indicadores son el resultado de la reactivación de fallas de dirección N-S, NE-SO a ENE-OSO y N75°E. Por otra parte una serie de estructuras sedimentarias, tales como "micro-diapiros" y "micro-cabalgamientos" afectando a depósitos de edad 1140 ± 45 a.BP, en el Valle de Cavado (Penida, Oeste de Braga), y que en principio habían sido interpretados como debidas a fenómenos periglaciares (Soares de Carvalho, 1983), son hoy en día, asimilados a estructuras de paleosismicidad (Granja et al. 1999).

También en la costa sur atlántica española, litoral de Huelva, una actividad tectónica importante se registra, durante el Pleistoceno superior-Holoceno (Zazo et al. 1999). Fallas con dirección general E-O y con movimientos en la vertical, afectan a los depósitos marinos del Último Interglacial y a los depósitos dunares que se desarrollan durante el Último período Glaciar e inicio del Holoceno.

Resultados y Conclusiones

El litoral gallego, muestra de forma dispersa y puntual el registro de las variaciones del nivel del mar, mediante depósitos sedimentarios adosados a nuestras playas (playas fósiles y actuales, dunas fósiles y actuales ...) y acantilados, y también a través de formas erosivas generadas por la dinámica marina (plataformas de abrasión, rasas, socaves...). Hace aproximadamente 18.000 años que finalizó la última glaciación cuaternaria llamada Würm, y desde esta época las temperaturas a nivel mundial han ido aumentando progresivamente hasta el llamado Óptimo Climático Holoceno (6000-5000 años) con temperaturas de 3 °C superiores a las actuales, lo cual marca el máximo de la etapa interglaciar postwürm. El Holoceno constituye el Presente Interglacial o estadio isotópico 1, según la escala isotópica, extendiéndose cronológicamente entre los 10000 años y la actualidad. Entre el siglo XVI y mediados del siglo XIX, el descenso de las temperaturas hace que los hielos avancen desarrollándose la llamada "Pequeña Edad Glaciar" correspondiente a una pulsación, reconociéndose en el siglo XX una serie de oscilaciones que indican el retroceso de los hielos, aumento de las temperaturas y por lo tanto una tendencia de ascenso paulatino del nivel del mar por el deshielo correspondiente.

En el litoral analizado los depósitos y formas marinos, correspondientes al Último y Presente Interglacial en general no superan los 2 m (OIS 5) y los 0.5 m (OIS 1), sobre el nivel del mar; excepto en sectores afectados por fallas, que sugieren una tendencia tectónica general de hundimiento, en relación con otras costas del litoral español, durante los últimos 130000 años. Las oscilaciones y variaciones del nivel del mar holoceno, quedan "impresas" en los afloramientos de los acantilados en forma de rasas de diferente altitud y socaves. La actividad tectónica reciente posterior a los 130000 años que se observa claramente en el sector costero entre la Ría de Arosa y Pontevedra, se debe a la reactivación de fallas de dirección N160°E con componente vertical y salto de unos 2 m, que funcionan como mínimo durante las primeras etapas del Último Período Glaciar; esa actividad tectónica podría ser incluso más reciente, por las estructuras sedimentarias: "micro-diapiros" y "micro-cabalgamientos", correspondientes a estructuras de paleosismicidad y no a procesos periglaciares.

Referencias

- Alonso, A., Pages, J. L. 2000. El registro sedimentario del final del Cuaternario en el litoral Noroeste de la Península Ibérica. Márgenes Cantábrico y Atlántico. *Rev. Soc. Geol. de España* 13: 17-29.
- Bardaji Azcárate, T. 2009. Un nuevo "período" en la Escala Geocronológica Global. *Rev. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 17: 37-43.
- Boersma, J.R. 1999. Pleistocene and Holocene aeolian facies along the Huelva coast (Southern Spain): climatic and neotectonic implications. *Geologie en Mijnbouw* 77: 209-224.
- Granja, H. M., Ribeiro, I. C., Soares de Carvalho, G., Senos Matías, M. 1999. Some neotectonic indicators in Quaternary Formations of the Northwest coastal zone of Portugal. *Rev. Phys. Chem. Earth* 24: 323-336.
- Hearty P. 1999. Warm interglaciations, abrupt environmental change, and the Antarctic "Wil Card". In: Fletcher C. H. and Mathews J. V. (eds.). *The Non-Steady State of the Inner Shelf and Shorelines: Coastal Change on the Time Scale of Decades to Millennia*: 99-100. Honolulu, USA.
- Martínez-Graña, A., Goy J. L., Zazo, C. 2000. Actividad tectónica en el Noroeste Peninsular, en base a los registros de los depósitos costeros de los últimos 130.000 años (Rías Arosa-Pontevedra, Galicia). *Rev. Geotemas* 1: 263-266.
- Pedraza Gilsanz, J. 1996. *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Ed. Rueda, 6ª Edición. Madrid, España.
- Pérez Alberti, A., Blanco Chao, R., Costa Casais, M., Vazquez Paz, M. 1998. Formas litorales heredadas en costas rocosas de Galicia. En: A. Gómez Ortiz y F. Salvador Francha (eds.). *Investigaciones recientes de la Geomorfología española*: 333-340. Barcelona. España.
- Soares de Carvalho, G. 1983. Consecuencias do frio durante o quaternario na faixa litoral do Minho (Portugal). *Cuadernos del Laboratorio Xeoloxico de Laxe* 5: 365-379.
- Trenhaile, A.S., Pérez Alberti, A., Martínez Cortizas, A., Costa Casais, M., Blanco Chao, R. 1999. Rock coast inheritance: An example from Galicia, Northwestern Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 605-621.
- Zazo, C., Dabrio, C.J., Borja, F., Goy, J.L., Lezine, A.M., Lario, J., Pole, M.D., Hoyos, M.,

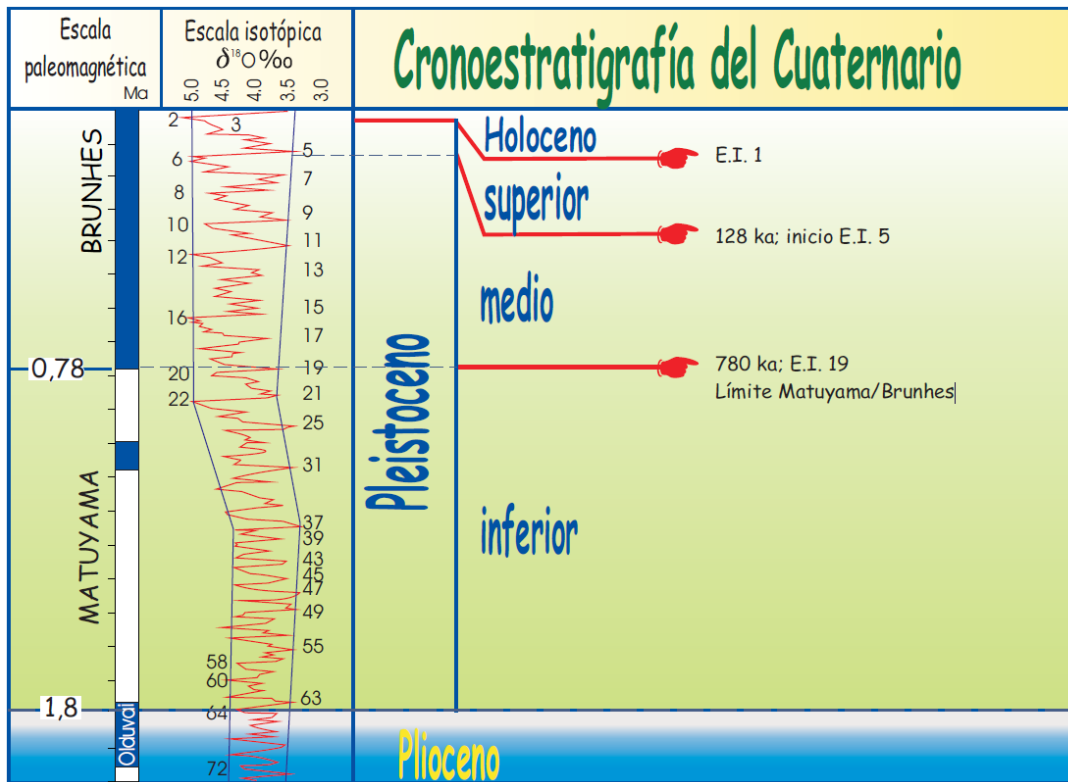


Figura 1. Cronología del Cuaternario (Bardají et al., 2000). (E.I.) Estadio Isotópico.

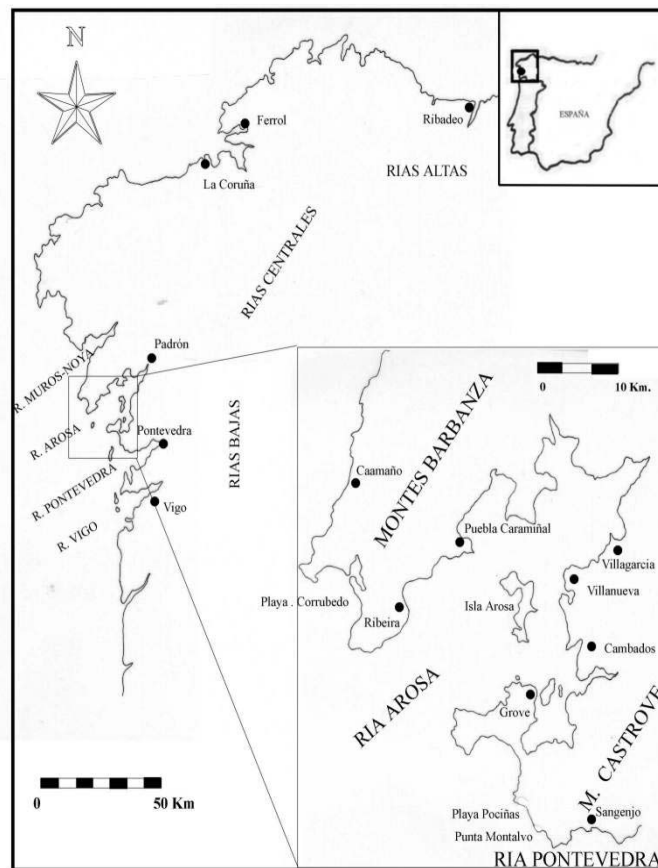


Figura 2. Situación del área de estudio.



Figura 3. A. Nivel marino fósil en ensenada de O Grove. B. Sistemas dunares superpuestos. C. Rasa (+12 m) de Punta Fagilda. D. Rasas Ermita de La Lanzada.



Figura 4. En A se observan tres superficies a diferente altura, que constituyen plataformas de abrasión que indican de periodos de estabilidad del nivel marino superior al actual. En B se observan estructuras de deformación en coluviones. C muestra formas de socaves de plataformas de abrasión elevadas.

ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES EN AGUAS RESIDUALES Y BIOFIJACIÓN DE CO₂ MEDIANTE EL CULTIVO DE MICROALGAS

Carla ESCAPA; Ana I. GARCIA

Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad. Universidad de León. León. España

Resumen

En el presente trabajo se ha estudiado el potencial de biorremediación de nitrógeno y fósforo de la especie *Synechocystis* sp. en fotobiorreactores de 1L iluminados con luz artificial controlada en una cámara de cultivo con control de la temperatura. Como medios de cultivos se han utilizado, por una parte aguas de lixiviados de riegos de cultivos de maíz y por otra el medio de cultivo sintético Mann&Myers, como referencia, en el que cual previamente se han determinado las condiciones experimentales óptimas.

Los resultados muestran un gran potencial de eliminación de nitrógeno y fósforo en las aguas residuales utilizadas, siendo incluso superior para el caso del nitrógeno que en el medio de cultivo sintético. Además se ha demostrado que dicha especie es adecuada para la biofijación de CO₂ a gran escala por su rápida tasa de crecimiento y fijación de CO₂ en cultivos de alta densidad, lo cual junto con la necesidad de altas intensidades luminosas, la hace apta para su cultivo en exterior.

Abstract

The removal of phosphorus and nitrogen by the strain *Synechocystis* sp, cultured in wastewater irrigation runoffs in maize fields, has been addressed in the present study. In addition, the above mentioned strain has been cultured in a M&M synthetic medium used as a reference. The tests were carried out in 1L photobioreactors where temperature and illumination were controlled. Cellular growth rate and CO₂ fixation were analyzed as well. The results show a great potential for nitrogen and phosphorous removal in the wastewaters considered. Moreover, nitrogen removal for wastewater was even greater than that for the synthetic medium. In addition, we proved that CO₂ fixation by this strain is a feasible process in photobioreactors at pilot scale, due to its rapid growth rates, and CO₂ fixation in high density cultures. This, together with the need for high light intensities makes *Synechocystis* sp. suitable for outdoor growing.

PALABRAS CLAVE: *Synechocystis* sp., biomass, fotobiorreactor, biorremediación, aguas residuales

Introducción

La gran cantidad de agua utilizada para fines agrícolas, municipales o industriales supone la generación de grandes volúmenes de aguas residuales, presentando una elevada concentración de nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo. Es necesario disminuirlos hasta un límite aceptable antes de su vertido para evitar problemas de eutrofización y sus consecuentes impactos ecológicos (Aslan and Kapdan, 2006). Según el International Lake Environment Committee, el 53% de los lagos y reservorios de Europa están eutrofizados (ILEC and Lake Biwa Reseach Institute, 1993).

Existen numerosos procedimientos para eliminar estos nutrientes, si bien suelen presentar problemas en cuanto a su elevado coste, su complejidad de operación o bien su alto consumo energético (entre el 60-80% del total del proceso de depuración) (Lam and Lee, 2012). Frente a los sistemas convencionales de eliminación de nutrientes, actualmente se está realizando un gran esfuerzo en el estudio de la viabilidad técnica y económica de otros sistemas emergentes, tales como los cultivos de microorganismos fotosintéticos entre las que se encuentran las microalgas. Este proceso de biorremediación a través del cultivo de microalgas ha sido promovido desde finales de la década de los cincuenta (Oswald, 1957). Desde entonces las algas han ido ganando atención debido a su potencial de eliminación de nutrientes de aguas residuales urbanas (Li et al, 2011; Chi et al 2011), industriales (Mulbry, 2008, 2009) y de la agricultura (Chinnasamy et al, 2010; Markou and Georgakakis 2011).

Los resultados obtenidos en cuanto a porcentajes de eliminación y tasas de crecimiento dependen de la concentración de nutrientes en el agua, del sistema y condiciones de cultivo y la especie de microalga utilizada, llegando a resultados que muestran porcentajes de eliminación de hasta el 100% (Mandal and Mallick, 2010; Gómez et al., 2013).

La mayoría de los estudios con agua residual urbana se centran en el uso de las microalgas como tratamiento terciario, es decir, aquél tras el cual el agua es devuelta al medio, y previo al cual se ha eliminado la mayor parte de materia orgánica disuelta y suspendida, aunque existen ciertas especies con tolerancia a altas concentraciones de nutrientes, como *Chlorella* sp, *Scenedesmus* sp. y *Muriellopsis* sp. (Martinez, 2011, Gómez et al., 2013). Diversos autores han estudiado el crecimiento de las microalgas y su eliminación de nutrientes en diversos puntos de una EDAR (Wang and Min, 2009; Cabanelas et al, 2013, Gómez et al., 2013). Por otra parte, las aguas residuales procedentes de explotaciones ganaderas y agrícolas se caracterizan por presentar elevadas concentraciones de nutrientes. Existen diversos estudios que demuestran la capacidad de determinadas especies para eliminarlas del medio (An et al, 2003; Markou 2011; Pittman 2011). En cuanto al agua residual de origen industrial el principal interés radica en la eliminación de metales pesados y compuestos tóxicos que pueden ser eliminados por determinadas microalgas (Chinnasamy et al, 2010). Al ser aguas con menor cantidad de nutrientes el crecimiento es más lento y menor la cantidad de biomasa generada. En un estudio llevado a cabo por Wang y Min (2009) queda patente la capacidad de las microalgas, mayor que la de la biomasa bacteriana y fúngica, de eliminar metales como hierro, aluminio, manganeso, magnesio y zinc de cuatro tipos diferentes de agua residual (porcentajes de eliminación entre 56 y 100%).

El fundamento de utilización de las microalgas en la depuración de agua residual radica en su capacidad de asimilación celular, y por tanto eliminación del medio de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (Hoffman, 1998; Bich et al, 1999). Además, debido al aumento de pH que acompaña al proceso fotosintético, tienen lugar una serie de procesos de eliminación no directamente relacionados con la biología de los microorganismos; entre los que se encuentra la precipitación de óxidos de metales pesados. Por otro lado, la eliminación de amonio puede tener lugar debido al *stripping* de amoníaco hacia la atmósfera, ya que el equilibrio $\text{NH}_4\text{-NH}_3$ depende del pH del medio, así como la eliminación de fósforo puede ser debida a la precipitación química, así como a la adsorción en la superficie de las microalgas (Martínez and Sánchez, 2000, Wang and Mind, 2009).

Entre las principales ventajas de la utilización de microalgas para este propósito se encuentran las siguientes (Aslan and Kapdan, 2006, Cai et al, 2013):

- Simplicidad de operación y reducción de costes en comparación con las tecnologías convencionales. Al no necesitar productos químicos es un proceso más seguro desde el punto de vista ecológico, con los beneficios añadidos de la recuperación de recursos y el reciclaje.
- Posibilidad de reciclar el nitrógeno y fósforo asimilado en la biomasa algal como fertilizante evitando el problema de manejo de los lodos.
- Actuación conjunta de algas y bacterias, en que las primeras generan el oxígeno necesario para las segundas, las cuales su vez proporcionan los nutrientes necesarios, junto la energía lumínica para la fotosíntesis.
- Es posible la recirculación de la biomasa microalgal al reactor anaerobio de un sistema de depuración, suponiendo un aporte adicional de materia orgánica, generando así una cantidad mayor de biogás.
- Descarga de efluente oxigenado al agua y con calidad suficiente para el riego.
- No tiene requerimientos de carbono para la eliminación de nitrógeno y fósforo, lo cual es interesante para el tratamiento secundario de efluentes.
- Posibilidad de generar energía, capturar CO₂ de gases de combustión y obtener sustancias de interés industrial.
- La biomasa generada en el proceso supone un valor añadido permitiendo cubrir parte de los gastos del proceso, haciéndolo más rentable.

El cultivo de microalgas tiene múltiples aplicaciones, entre las que se encuentra la producción combinada de biocombustibles, eliminación de dióxido de carbono de gases de combustión, tratamiento de aguas residuales y fabricación de productos de alto valor añadido (Benemann, 2002). Es imprescindible la combinación de varios de estos procesos para asegurar la viabilidad económica, bien sea en el ahorro de los costes del proceso o bien por la obtención de productos que disminuyan el coste de éste (Mizsey and Racz, 2010; Rawat et al., 2011).

Uno de los principales motivos por el que estos cultivos de microalgas no son empleados en el tratamiento de agua residual a gran escala es la dificultad y coste de la separación de la biomasa generada del agua depurada, llegando a entre el 20 y 30% del coste total (Molina Grima and Belarbi, 2003). Esto significa que esta etapa es determinante en la economía y en el balance energético del proceso. Las microalgas son, en general, difíciles de separar por su pequeño tamaño, si bien es cierto que, por su tamaño, algunas cianobacterias sedimentan (decantación espontánea) o flotan, y que algunas microalgas forman agregados (biofloculación), lo que facilita su decantación.

Material y Métodos

Microorganismo y medios de cultivo

La microalga *Synechocystis* sp. ha sido cultivada en dos medios de cultivo, para estudiar su potencial en la biorremediación de N y P. Por una parte se ha utilizado el medio de cultivo Mann&Myers (Mann and Myers, 1968), utilizando como diluyente agua milli-Q, y por otra parte agua residual procedente del lixiviado de riego de cultivo de maíz suplementada con nitratos hasta obtener la misma concentración del medio de cultivo sintético. El agua de riego fue filtrada utilizando un filtro Whatman de grado 3 (retención de partículas de 6 µm), y posteriormente ambos medios de cultivos se esterilizaron en autoclave durante 20 minutos a 121 °C y 1 atm de presión.

Condiciones de cultivo

El inóculo inicial se obtuvo a partir de células conservadas en el laboratorio en placa de Petri o a partir de biomasa congelada a -84°C en suspensión de glicerol al 30%. El crecimiento se inició en matraces con 125 mL de medio de cultivo, que se mantuvieron sobre una placa con agitación a 250 rpm y con un fotoperiodo de 12/12 horas de luz/oscuridad, en cámara de cultivo a 27°C . Tras 4 días de cultivo se utilizaron como inóculo de los fotobiorreactores (FBR) de 1 litro de capacidad.

En la figura 1 se muestra una fotografía del inóculo utilizado, en placa y en fase de crecimiento en reactores de 250 ml.



Figura 1. Fotografía de los inóculos utilizados en los ensayos realizados

Los ensayos se llevaron a cabo en tandas de tres FBR, uno de ellos contenía medio de cultivo Mann&Myers, otro el agua residual compensada, ambos inoculados con la especie *Synechocystis* sp., con una concentración inicial de 0.1 g/L, y el tercer FBR se mantuvo como control conteniendo únicamente el agua residual compensada. El cultivo se mantuvo en régimen discontinuo durante ocho días.

En la figura 2 se incluye un esquema del montaje experimental, junto con los sistemas auxiliares empleados.

La agitación se realizó mediante burbujeo de aire a razón de 0.8 v/v/min y un suministro de CO_2 del 5% del flujo de aire introducido “a demanda” en función del valor de pH, manteniendo este en un valor de 7.2 a 7.5. El aire de burbujeo se filtró a través de una botella situada a la salida del compresor, que contenía agua milli-Q previamente esterilizada. Antes de la entrada a cada columna se colocó un microfiltro de tamaño de poro de $0.22\ \mu\text{m}$, que evita la contaminación del cultivo por rotíferos.

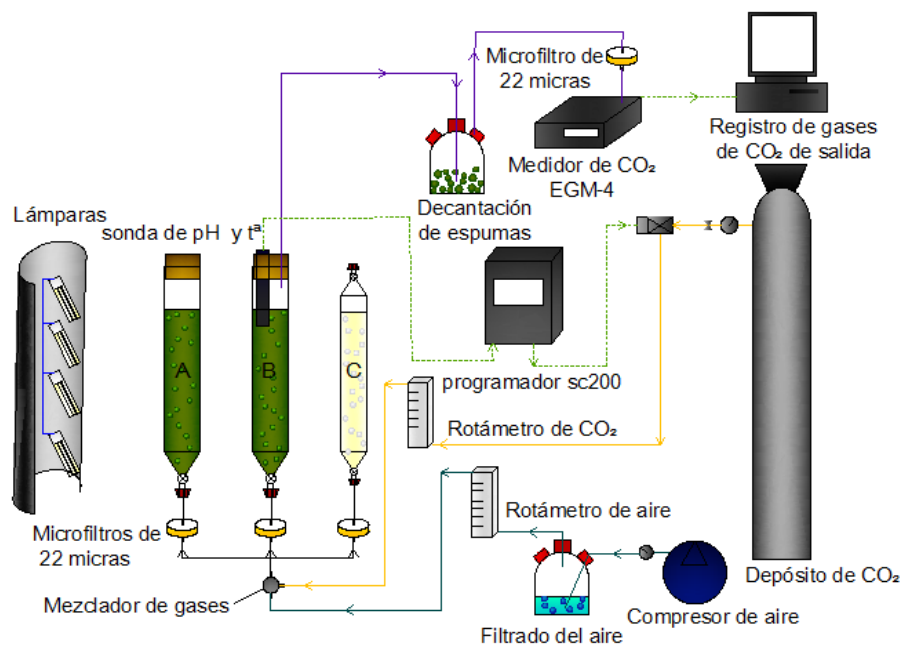


Figura 2. Esquema del montaje de los fotobiorreactores para biorremediación de aguas residuales mediante el cultivo de la microalga *Synechocystis* sp. (reactor A con medio de cultivo M&M, reactor B con aguas residuales como medio de cultivo, reactor C como control).

La parte superior de los fotobiorreactores permanecieron parcialmente abiertos para posibilitar la salida de gases. En el FBR cuyo medio de cultivo es el agua de escorrentía de riego compensada se acopló un tubo para la recogida de gases, que tras decantar en una botella las espumas generadas y pasar por un microfiltro de 22 μm , el gas de salida del reactor entraba en un medidor de CO_2 (EGM-4 *Environmental Gas Monitor for CO_2* , PP Systems) conectado a un ordenador, que permite la medida y registro de la concentración de CO_2 en el aire de salida. El registro se programó cada 5 segundos. Además este FBR disponía de una sonda de pH y temperatura que regulaba la entrada de CO_2 a todas las columnas de burbujeo, en función del valor de pH alcanzado.

El FBR permaneció iluminado por lámparas de bajo consumo de 27W colocadas verticalmente abarcando toda la superficie exterior de la columna. Los dispositivos de iluminación variaron en número de lámparas y proximidad a la pared del reactor según la intensidad deseada. El fotoperiodo fijado fue de 16/8 horas de luz/oscuridad. La temperatura en la cámara de cultivo se fijó en 27 $^{\circ}\text{C}$, alcanzándose 30 \pm 1 $^{\circ}\text{C}$ en el interior del reactor durante la fase iluminada debido al calor desprendido por las lámparas.

En la figura 3 se muestra una fotografía de una tanda de tres fotobiorreactores. Los dos primeros (comenzando por la izquierda) inoculados y en fase de crecimiento y el tercero el utilizado como blanco.



Figura 3. Fotografía de los fotobiorreactores tipo columna de burbujeo, utilizados en los ensayos

Métodos analíticos

La intensidad luminosa se midió introduciendo la sonda de un radiómetro esférico (*Quantum Scalar Laboratory PAR Irradiance Sensor QSL-2100, Biospherical Instrument Inc.*) 15 cm en el cultivo, por la parte superior del FBR, asegurándonos que la intensidad promedio en el interior del reactor fuera de $686 \pm 20 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$.

La medida de concentración de biomasa (C_b) como peso seco de los sólidos presentes en una suspensión de cultivo microalgal se determinó por filtración de 25 mL de cultivo sobre un filtro de nitrocelulosa de $0,45 \mu\text{m}$, utilizando para ello un sistema de filtrado mediante vacío. La biomasa retenida sobre el filtro se lavó con 20 mL de agua destilada y 1 mL de HCl 0,5 M para eliminar restos de sales presentes en el cultivo o que hayan podido precipitar durante el filtrado. A continuación, el filtro se lavó con 10 mL de agua destilada y se secó en estufa a 105°C durante 24 h. Transcurrido ese tiempo, el filtro permaneció en un desecador durante una hora antes de ser pesado. La concentración de biomasa se determina por diferencia de pesada, expresándose en gramos de biomasa por litro de cultivo.

Al tratarse de un bajo volumen de operación, sólo se sacó muestra el día 1, 3, 5 y 8 del ensayo, evitándose así variar las condiciones de operación.

La caracterización de la biomasa de la especie se realizó por análisis elemental (carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre), siguiendo las normas ASTM D-5373 y ASTM D-4239 (ASTM, 1994 y ASTM, 1995).

La evolución del nitrógeno y el fósforo se realizó analizando el medio de cultivo separado de la masa celular utilizada para realizar el seguimiento de la concentración celular. En la determinación de nitratos (NO_3^-) se utilizó el método de detección por espectrometría ultravioleta y para el fósforo total, el método del ácido ascórbico, en ambos casos siguiendo el protocolo recogido en “*Standard methods for the examination of water and wastewater*”.

Parámetros cinéticos de crecimiento microalgal y fijación de CO₂

Velocidad específica de crecimiento (μ_i en h⁻¹), entre días consecutivos de cultivo, se calculó según la siguiente expresión (Andersen, 2005):

$$\mu = \frac{\ln(Cb_i) - \ln(Cb_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \quad (1)$$

donde Cb es la concentración de biomasa, en el instante de tiempo t_i . La velocidad específica de crecimiento máxima, $\mu_{\text{máx}}$ es la mayor de las obtenidas a lo largo de los días de cultivo.

Tiempo de generación ($d_{t,i}$, horas). Es el tiempo necesario para la división de una célula. Se calcula a partir de la velocidad específica de crecimiento para el instante i , μ_i , según (Andersen, 2005):

$$d_{t,i} = \ln(2) / \mu_i \quad (2)$$

El tiempo de generación mínimo es el calculado a partir de $\mu_{\text{máx}}$.

Productividad diaria (P_i en g/l/d). Es la biomasa producida entre el día $i-1$ y el día i :

$$P_i = \frac{(Cb_i - Cb_{i-1})}{(t_i - t_{i-1})} \quad (3)$$

donde Cb _{i} es la concentración de biomasa para el día i . La productividad máxima ($P_{\text{máx}}$) es la mayor de las obtenidas a lo largo de los días de cultivo.

Consumo de CO₂ (C_{CO_2} en %). El porcentaje de CO₂ consumido se calculó por diferencia del registro de las ppm de CO₂ de entrada en la columna de burbujeo y las ppm de CO₂ en el gas de salida.

Resultados y Discusión

Análisis elemental

En la tabla 1 se muestra el análisis elemental de la biomasa final, concentración de C, H, N y S (como porcentaje del peso seco).

El contenido de carbono en la biomasa fue del 49,8%, contenido dentro de los valores esperados que oscilan entre un 40-60%.

Para el segundo nutriente más importante para el crecimiento de algas que es el nitrógeno el contenido ha sido de un 9,6%, valor que se encuentra dentro del rango encontrado en la bibliografía cuyo valor oscila entre un 1% y 10%.

Tabla 1. Análisis elemental de la biomasa (% bs: porcentaje de biomasa seca)

Especie	Carbono (%bs)	Hidrógeno (% bs)	Nitrógeno (%bs)	Azufre (%bs)
<i>Synechocystis</i> sp	49,8	7,2	9,6	0,75

Esto nos hace pensar en la vinculación de la eliminación de nutrientes, obtenida en este trabajo con distintas actividades industriales rentables mediante la producción de biomasa algal. Así la biomasa de algas se puede utilizar para la producción de varios productos de alto valor añadido, tales como proteínas, biocombustibles y fertilizantes (González López et al., 2010). Los biocombustibles pueden obtenerse no sólo de los lípidos de algas, que son útiles para la generación de biodiésel, sino que también es un recurso orgánica importante para la generación de metano a través de digestores anaeróbicos (Ras et al., 2011).

Crecimiento y fijación de CO₂

Las curvas de crecimiento para la especie. en discontinuo para los dos medios de cultivo han sido expresadas en función de la concentración de biomasa, medida como peso seco, como puede verse en la figura 4.

En ambos cultivos se muestra una fase de crecimiento exponencial que se hace más acusada a partir del quinto día de cultivo, momento en el que el cultivo supera la fase de adaptación. Durante todo el cultivo el crecimiento es mayor en el caso del medio de cultivo a partir de agua residual. En éste se alcanza un 55% más de peso seco en el día ocho de cultivo, que en el caso del cultivo con medio Mann&Myers. Esto se debe a que las condiciones que proporciona el agua de riego son más favorables para su crecimiento debido a la mayor cantidad de nutrientes que aporta (Mandal et al., 2011), teniendo en cuenta que la cantidad de nitrógeno ha sido compensada para que su concentración sea del orden del medio de cultivo sintético, para el cual dicha concentración ha sido optimizada.

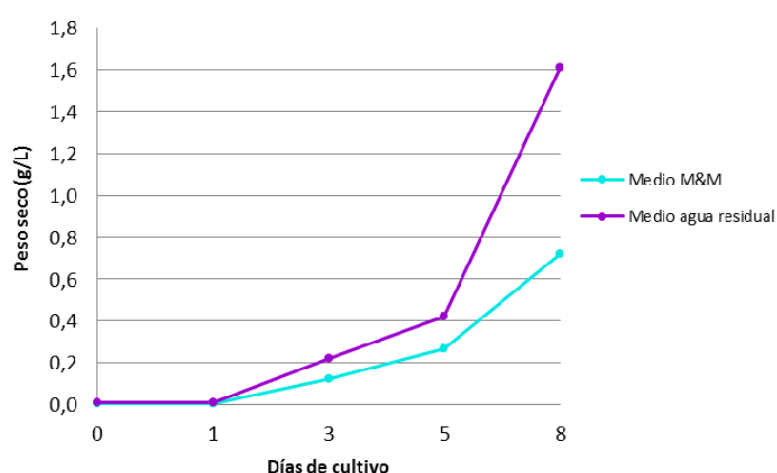


Figura 4. Curvas de crecimiento para la cyanobacteria *Synechocystis* sp. en función de la concentración de biomasa, para un cultivo discontinuo en medio de cultivo Mann&Myers y en agua residual

Las velocidades de crecimiento máximas en ambos cultivos son similares tomando valores de $0,10 \text{ h}^{-1}$ y tiempos de generación mínimos en torno a 6 h en ambos casos (tabla 2). La diferencia radica en la productividad máxima. En ambos medios de cultivo el máximo se produce en el día 8 de cultivo siendo un 55,12% superior en el caso del cultivo con agua residual procedente de agua de riego.

El hecho de que la tasa de crecimiento no se vea afectada por utilizar aguas residuales en lugar de un medio sintético completo (Martínez et al., 2000), muestra que *Synechocystis* sp. es adecuada para ser utilizada en procesos de biorremediación.

Ensayos en los que utilizan como medio de cultivo aguas residuales de secundario reflejan una disminución de la productividad máxima alcanzada respecto al medio de cultivo sintético debido a que el nitrógeno es un factor limitante (Gómez et al., 2013). Esta situación se ve compensada realizando mezclas del agua residual con el medio de cultivo sintético. En el caso del ensayo realizado, el nitrógeno no es un factor limitante ya que se ha suplementado hasta alcanzar los valores del medio sintético, para estudiar así la influencia de otros nutrientes en su crecimiento.

Tabla 2. Velocidad específica de crecimiento máxima ($\mu_{\text{máx}}$ en h^{-1}), tiempos de generación mínimo (dt_{min} en h) y productividad máxima ($P_{\text{máx}}$ en g/l/d) para *Synechocystis* sp. en cultivo discontinuo en medio de cultivo Mann&Myers y en agua residual

Medio de cultivo	Día de cultivo	$\mu_{\text{máx}}$ (h^{-1})	dt_{min} (h)	Día de cultivo	$P_{\text{máx}}$ ($\text{g l}^{-1}\text{d}^{-1}$)
Mann&Myers	1	0,1061	6,5322	8	0,1509
Agua residual	1	0,1022	6,7801	8	0,3959

Como se puede observar en la figura 5, la asimilación de CO_2 se mantiene estable con un valor en torno a un 30%, respecto a la concentración de entrada, hasta el día 4-5 de cultivo, momento en el que comienza a reducirse hasta niveles del 8%. Los días de mayor biofijación de CO_2 , coincide con los días de mayor velocidad específica de crecimiento.

El porcentaje de CO_2 que las células son capaces de fijar, respecto a la cantidad que entra, viene determinado además de por la especie y por la fase de crecimiento en la que se encuentre, por la geometría de los biorreactores en los que se realizan los ensayos, este porcentaje se podría mejorar aumentando la relación altura/diámetro de los reactores, esto permitiría aumentar el tiempo de residencia del gas en el reactor, mejorando la transferencia de materia.

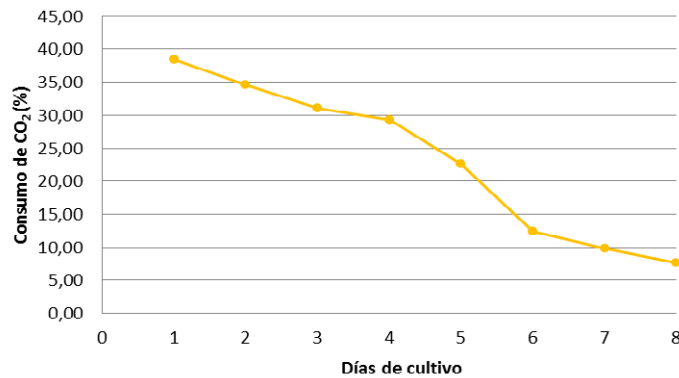


Figura 5. Consumo de CO₂ (%) en los días de cultivo del ensayo con *Synechocystis* sp. utilizando como medio de cultivo aguas residuales.

Potencial de biorremediación

La determinación de la concentración de nutrientes en el medio de cultivo se realizó los días 0 (concentraciones iniciales) 1, 3, 5 y 8 (concentraciones finales). La evolución de sus concentraciones así como los porcentajes de eliminación se muestran en las figuras 6, 7 y 8.

Para ambos ensayos se partió de una concentración de nitratos de 780 mg/L, para el agua residual en el día 8 de cultivo, se llega a niveles de 347 mg/L, correspondiendo con una eficiencia de biorremediación del 55.5%, en el medio de cultivo M&M la eficiencia de biorremediación de nitratos es ligeramente superior, alcanzándose un valor del 60.5%. Hay que tener en cuenta que como se ha comentado previamente que el agua residual se ha suplementado hasta alcanzar la concentración del medio de cultivo sintético y esto determina que las diferencias no sean significativas.

Para medios de cultivos optimizados obtenidos a partir de mezclas de aguas residuales y medios sintéticos se han alcanzado eficacias de un 92-95%. (Wang et al., 2010).

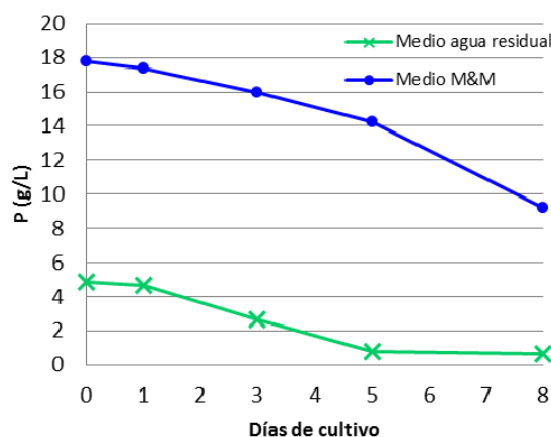


Figura 6. Niveles de nitratos en el medio de cultivo Mann&Myers y en el agua residual, en diferentes días de cultivo con *Synechocystis* sp.

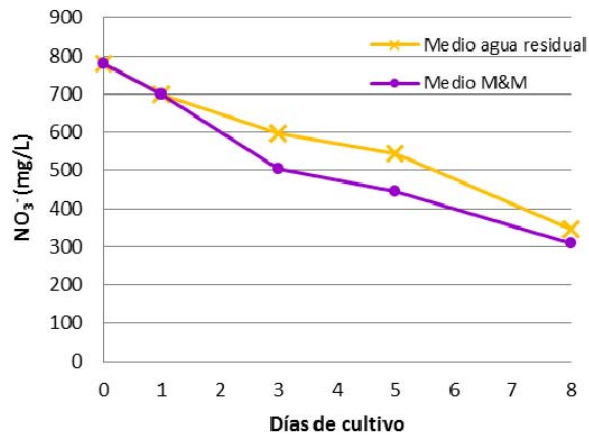


Figura 7. Niveles de fósforo en el medio de cultivo Mann&Myers y en el agua residual, en diferentes días de cultivo con *Synechocystis* sp.

En el caso del fósforo existe diferencia entre las concentraciones iniciales, pues en este caso el agua residual sintética no fue suplementada, así partimos de una concentración de 17,8 mg/L para el medio de cultivo sintético y de 4,8 en el agua residual, las concentraciones finales alcanzando son respectivamente 9,2 y 0,7 mg/L, lo que corresponden a un 55.5% y 85.8%. Ambos porcentajes están dentro de los rangos obtenidos por otros autores que están para aguas domésticas entre un 62 y un 80% (Wang et al., 2010).

El cultivo de microalgas para la purificación de aguas residuales ha sido estudiada por diversos autores (Martínez et al., 2000; Bhatnagar et al., 2010; Mandal et al., 2011). En ocasiones existen limitaciones de nutrientes que provocan un estrés celular redirigiendo el metabolismo hacia la acumulación de lípidos y carbohidratos en lugar de proteínas. En función del uso final de esa biomasa puede ser una situación deseable (Gómez et al., 2013).

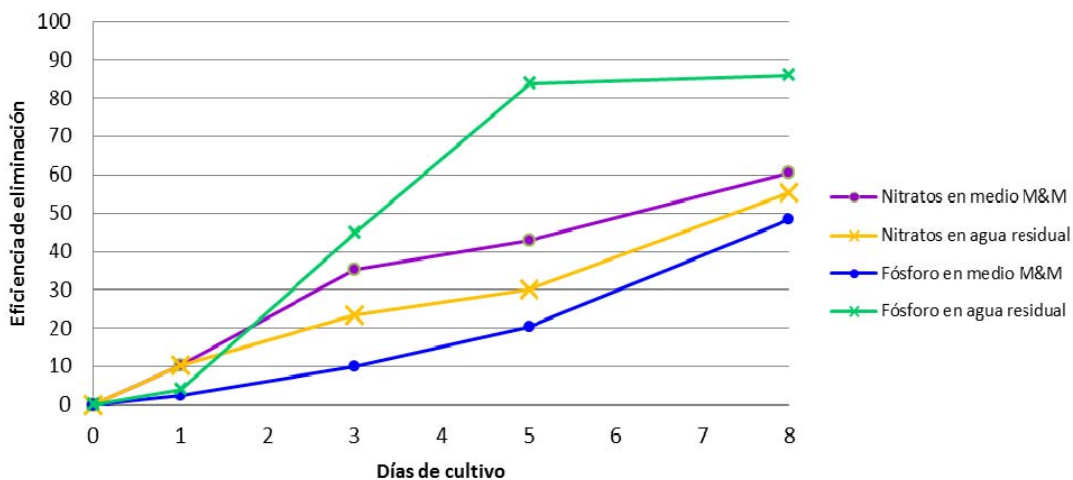


Figura 8. Eficiencia de eliminación de N y P en medio de cultivo Mann&Myers y en agua residual, en diferentes días de cultivo de *Synechocystis* sp.

El alto requerimiento de nutrientes de las microalgas (principalmente N y P) permite su cultivo en aguas residuales, aportando el beneficio adicional de la reducción de contenidos de nitrógeno y fósforo de dichas aguas. El crecimiento conjunto de algas y bacterias (Oswald et al., 1957) permite que las bacterias utilicen el O₂ liberado por las algas, favoreciendo así la degradación de la materia orgánica.

Los altos costes de la producción de biomasa deben ser compensados con la obtención de una biomasa de alta calidad, para la producción de sustancias de alto valor como biopolímeros, pigmentos, antioxidantes, etc.. En el caso concreto del tratamiento de aguas residuales parece más adecuado, debido a las características del medio de cultivo, pensar en destinarla a la producción de proteínas, biocombustibles o biofertilizantes (Benemann, 2002).

Conclusiones

La cianobacteria, *Synechocystis* sp., una especie adecuada en sistemas destinados a la biofijación de CO₂ por su rápido crecimiento en cultivos de alta densidad, que junto con la necesidad de altas intensidades luminosas, la hacen apta para su cultivo en exterior. Presenta un gran potencial de biorremediación de nitrógeno y fósforo cuando se utilizan aguas residuales procedentes de escorrentía de riegos de maíz como medio de cultivo. Además los porcentajes de carbono y nitrógeno de la biomasa obtenida nos hacen pensar en la posible utilización de dicha biomasa para la obtención de proteínas, biocombustibles o biofertilizantes.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por la Junta de Castilla de León, mediante el proyecto de investigación de referencia LE017A09, y por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte a través de la beca concedida a la autora Carla Escapa con referencia FPU 12/03073.

Referencias

- American Public Health Association. 1999. Standard methods for examination of water and wastewater. Editorial. 20th ed. Washington, USA.
- An, J.Y., Sim, S-J. 2003. Hydrocarbon production from secondary treated piggery wastewater by the green alga *Botryococcus braunii*. *Journal of Applied Phycology* 15: 185-191.
- Andersen R. A. 2005. *Algal Culturing Techniques*. Elsevier Academic Press. Elsevier Inc. Burlington, MA, USA.
- Aslan, S., Kapdan, I. K. 2006. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological Engineering* 28: 64-70.
- ASTM, 1995. Active Standard D-4239. Test methods for sulphur in the analysis sample of coal and coke using high temperature tube furnace combustion methods
- ASTM, 1995. Active Standard D-5373. Test method for instrumental determination of carbon, hydrogen and nitrogen in laboratory samples of coal and coke.
- Benemann J. 2002. Greenhouse gas emissions and potencial for mitigation from waterwater treatment processes. Report to Electric Power Reseach Institute and U.S. Department of Energy. USA
- Bich, N. N., Yaziz, M. I., Bakti, N. A. K. 1999. Combination of *Chlorella vulgaris* and *Eichhornia crassipes* for wastewater nitrogen removal. *Water Research* 33: 2357-2362.

- Cabanelas, I., Ruiz, J., Arbib, Z., Chinalia, A., et al. 2013. Comparing the use of different domestic wastewater for coupling microalgal production and nutrient removal. *Bioresource Technology* 131: 429-436.
- Cai, T., Park, S. Y., Li, Y. 2013. Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae. Status and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19: 360-369.
- Chi, Z., Zheng, Y., Jiang, A., Chen, S. 2011. Lipid production by culturing oleaginous yeast and algae with food waste and municipal wastewater in an integrated process. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 165: 442-53.
- Chinnasamy, S., Bhatnagar, A., Hunt, R.W. 2010. Microalgae cultivation in a wastewater dominated by carpet mill effluents for biofuel applications. *Bioresource Technology* 101: 3097-105.
- Gómez, C., Escudero, R., Morales, M. M., Figueroa, F. L., Fernández-Sevilla, J. M., Ación, F. G. 2013. Use of secondary-treated wastewater for the production of *Muriellopsis* sp. *Applied Microbiology and Biotechnology* 97: 2239-2249.
- González, C. V., Cerón, M. C., Ación, F. C., Segovia, C., Chisti, Y., Fernández, J. M. 2010. Protein measurements of microalgal and cyanobacterial biomass. *Bioresource Technology* 101: 7587-7591.
- Hoffman, J. P. 1998. Wastewater treatment with suspended and non suspended algae. *Journal of Phycology* 34: 757-763.
- ILEC and Lake Biwa Research Institute, 1988-1993. Survey of the state of the world's lakes, vol. I-V, International Lake Environment Committee/United Nations Environment Programme, Otsu/Nairobi; 1993.
- Lam, M. K., Lee K. T. 2012. Microalgae biofuels: a critical review of issues, problems and the way forward. *Biotechnology Advances* 30 (3): 673-690.
- Li, Y., Chen, P., Min, M., Zhou, W., Martinez, B. 2011. Characterization of a microalga *Chlorella* sp. Well adapted to highly concentrated municipal wastewater for nutrient removal and biodiesel production. *Bioresource Technology* 102: 5138-44.
- Mandal, S., Mallick, N. 2010. Waste utilization and biodiesel production by the green microalga *Scenedesmus obliquus*. *Applied and Environmental Microbiology* Vol. 77 (1): 374-377.
- Mann J. E., Myers J. 1986. On pigments, growth and photosynthesis of *Phaeodactylum tricorutum*. *Journal of Phycology* 4: 349-355.
- Markou, G., Georgakakis, D. 2011. Cultivation of filamentous cyanobacteria (blue green algae) in agro-industrial wastes and wastewaters: a review. *Applied Energy* 88; 3389-3401.
- Martinez, A. 2011. Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Martínez, M. E., Sánchez, S., Jiménez, J. M., El Yousfi, F., Muñoz, L. 2000. Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus*. *Bioresource Technology* 73: 263-272.
- Mizsey, P., Racz, L. 2010. Cleaner production alternatives: biomass utilization options. *Journal of Cleaner Production* 18: 767-770.
- Molina Grima, E., Belarbi, E. H. 2003. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnology Advances* 20: 491-515.
- Mulbry, W., Kondrad, S., Pizarro, C., Kebede-Westhead, E. 2008. Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers. *Bioresource Technology* 99: 8137-42.
- Mulbry, W., Kondrad, S., Buyer, J., Luthria, D. 2009. Optimization of an oil extraction process for algae from the treatment of manure effluent. *Journal of the American Oil Chemists Society* 86: 909-15.

- Oswald, W., Gotaas, H. 1957. Photosynthesis in sewage treatment. American Society of Civil Engineers, Paper No. 2849.
- Pittman, J. K., Dean, A. P. 2011. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource Technology* 102 17-25.
- Rawat, I., Kumar, R., Mutanda, T., Bux, F. 2011. Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for suitable biofuels production. *Applied Energy* 88: 3411-3424.
- Wang, L., Min, M. 2009. Cultivation of green algae *Chlorella* sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 162: 1174-1186.

BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DEL SALMÓN ATLÁNTICO (*Salmo salar*) Y EL REO O TRUCHA DE MAR (*Salmo trutta*) EN GALICIA

Pablo CABALLERO JAVIERRE

Servicio de Conservación de la Naturaleza. Xunta de Galicia. Pontevedra. España

Resumen

A finales de la década de los 80 un severo descenso en las capturas oficiales de salmón en los ríos gallegos, favoreció la realización de estudios sobre sus poblaciones. La obligatoriedad de declarar los salmones pescados desde 1942 en toda España y los reos en Galicia desde 1992, ha ayudado en la obtención de gran cantidad de datos. Pero la puesta en marcha, en la década de los 90, de estaciones de captura y también, la realización de inventarios sistemáticos de peces mediante pesca eléctrica, ha producido un importante salto cualitativo con respecto a los trabajos hasta entonces realizados. En este artículo, tras revisar algunos aspectos taxonómicos de la Familia *Salmonidae* y más en detalle del género *Salmo*, se comparan diversos parámetros del ciclo vital de los salmónidos que habitan en aguas gallegas. Se analiza la distribución de reos y salmones en nuestros ríos; las características demográficas (edad fluvial y marina) y biométricas (longitud y peso); los movimientos en el mar y los de retorno al río; y por último, algunos parámetros reproductivos (fecundidad, tamaño del huevo, proporción de sexos y el número de reproducciones).

Abstract

At the end of eighty's decade, a severe decline in official salmon catches of the Galician rivers produced an increase in the study of these populations. In Atlantic salmon, since 1942, and since 1992, in sea trout, is obligatory by law to declare all catches, for that reason a lot of information has been obtained. In the nineties' systematic monitoring with fish traps and electrofishing methods, resulted in a qualitative leap with respect the previous studies done. In this paper, different taxonomic aspects of *Salmonidae* Family, and more detailed in *Salmo* genus are reviewed. Several life history parameters are compared among the two salmonids species that live in Galician waters. Sea trout and salmon distribution in Galician rivers is analyzed; demographic (river and marine age) and biometrics (length and weight) characteristics; sea movements and return to the river; and finally, reproductive parameters (fecundity, ova size, sex-ratio and reproduction frequency) are also compared among sea trout and salmon.

Key words: anadromous, atlantic salmon, fish migration, life history, salmonids, sea trout.

Introducción

Se establecen en peces, tres tipos de patrones según el ecosistema o ecosistemas donde se mueven en su vida (Lucas et al, 2001): *oceanodromía* (las migraciones ocurren exclusivamente en el mar), *potamodromía* (las migraciones ocurren exclusivamente en agua dulce) y *diadromía* (las migraciones ocurren entre el agua dulce y la salada). Dentro de los peces diádromos se incluyen diferentes categorías, según la fase vital en la que muestra respuesta a los cambios de salinidad y la dirección de la migración. Los *anádromos* (salmón, reo, lampreas, alosas,...), que son aquellos que migran al mar para completar su desarrollo y retornan al río para reproducirse. Los *catádromos* (anguilas), realizan la migración contraria,

tras desarrollarse en agua dulce retornan al mar para reproducirse. Algunos autores (McDowall, 1997) incluyen una tercera categoría de diádromos. Son los denominados *anfidromos*, que tras nacer en agua dulce, migran como larvas al mar justo tras la eclosión del huevo, en donde se alimentan inicialmente creciendo en agua salada, luego migran como pequeñas post-larvas del mar al agua dulce, donde ya como juveniles completan su alimentación y maduración sexual. Por lo tanto en este caso, a diferencia de los otros diádromos, el ecosistema fluvial es al tiempo el de alimentación principal y también el de reproducción.

La familia *Salmonidae* engloba dos subfamilias, *Thymallinae* (tímalos, solo 1 género) restringidos a agua dulce, y *Salmoninae*, con formas potamódromas y anádromas (Sandford, 1990). Esta subfamilia cuenta actualmente con cinco géneros, que van desde formas casi exclusivamente fluviales (géneros *Brachymystax* y *Hucho*), pasando por dos géneros de anadromía intermedia (géneros *Salvelinus* y *Salmo*), hasta una creciente pérdida de dependencia de las fases de agua dulce que se encuentran en los salmones y truchas del Pacífico (género *Oncorhynchus*). Tras la inclusión de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y la trucha de Clark (*Oncorhynchus clarkii*) en el género *Oncorhynchus* (Smith and Stearley, 1989), la trucha común (*Salmo trutta*, Linnaeus 1758) y el salmón Atlántico (*Salmo salar*, Linnaeus 1758), son las únicas especies del género *Salmo*. Sin embargo, la diversidad taxonómica de los salmónidos aún es objeto de controversia a nivel de especie y género, por lo que es probable que esta clasificación cambie no a muy largo plazo, dado que al menos en el género *Salmo* la sistemática no está asentada (Nelson, 2006) debido a la alta variabilidad de las especies.

En 1758, Carolus Linnaeus en la 10ª edición de su libro *Systema Naturae*, describió cuatro especies *Salmo*: la trucha de arroyo (*Salmo fario*), la trucha de río (*Salmo trutta*), la trucha de mar (*Salmo eriox*) y el salmón anádromo (*Salmo salar*). Hoy, son reconocidas como solo dos especies: la trucha común o Europea (*Salmo trutta*) y el salmón Atlántico (*Salmo salar*). El salmón Atlántico tiene formas anádromas y escasas poblaciones residentes en agua dulce, mientras que la trucha común cuenta con mayoría de formas residentes, si bien existen numerosas poblaciones anádromas.

Morfológicamente, las truchas se diferencian por tener una mayor boca, aletas pectorales más cortas y mayor presencia de pintas negras bajo la línea lateral. También se diferencian porque algunas presentan en el borde de la aleta adiposa coloración rojiza, cosa que nunca ocurre en salmón. El salmón, en proporción, tiene la cabeza más pequeña que las truchas y las características manchas ovaladas de los flancos son más marcadas que en las truchas. El cuerpo del salmón es más hidrodinámico y el pedúnculo caudal o “cola” más delgado. Estas adaptaciones reflejan diferencias ecológicas entre las dos especies, mientras la trucha exhibe una mayor afinidad por ambientes lénticos, crece más lentamente en el mar y tiene una mayor propensión por la residencia en el río; el salmón vive más tiempo en el mar, donde su cuerpo le permite navegar grandes distancias en el océano y aguantar fuertes corrientes de agua, también en agua dulce.

El ciclo vital del género salmo se inicia con la reproducción a finales del otoño e inicios del invierno. Los huevos fertilizados se desarrollan durante el invierno y el alevín eclosiona al inicio de la primavera. Aproximadamente al mes de la eclosión el alevín emerge del substrato de grava, cuando el saco vitelino está casi consumido, estando entonces preparado para la alimentación exógena. Comienza entonces el desarrollo juvenil, la apariencia externa cambia con la aparición de manchas ovaladas en los flancos, por las que se denominan “pintos”. Al

llegar el final del año, en este punto del ciclo vital, en las poblaciones anádromas algunos pintos machos alcanzan la maduración sexual, llegando a producir esperma viable antes de cumplir el año de edad (clase 0+). En la trucha común la maduración sexual precoz, suele producir normalmente que los individuos acaben siendo residentes y permanezcan de esta forma toda su vida en el río. En las poblaciones con componente anádromo, los pintos se transforman en esguines a partir de una talla de aproximadamente 15 cm en las dos especies. En poblaciones potamódromas las hembras suelen madurar más tarde que los machos normalmente en el segundo año de vida.

El esguinado consiste en una serie de transformaciones fisiológicas, morfológicas y de comportamiento que posibilitan la adaptación a la vida en agua salada. Esta migración al mar sucede todas las primaveras, a partir del año siguiente de su nacimiento. La permanencia en el mar varía desde unos pocos meses, como ocurre entre una importante proporción de reos (*post-esguines* o "*finnock*s"), hasta los 3 años en los grandes salmones vernaes. La distancia que recorren varía mucho entre las dos especies, mientras que los reos no se alejan de la costa, aunque en algunas ocasiones llegan a separarse incluso cientos de Km de su río de origen, los salmones recorren casi siempre miles de Km. hasta alcanzar sus áreas de pasto en regiones sub-árticas.

El retorno al río se produce antes en salmones, marzo-abril, mientras que en reos esta migración comienza en mayo. Se conoce que los salmones no se alimentan en el río y, existen evidencias que en reos, en caso de alimentarse, ello no les produce ganancia de peso. A diferencia de lo que ocurre con los salmones del Pacífico (todos los individuos mueren tras reproducirse = *Semelparidad*), tanto reos como salmones pueden sobrevivir a la reproducción (*Iteroparidad*). El descenso al mar de reos y salmones desovados (denominados "*zancados*") puede comenzar inmediatamente tras la reproducción, allá por el mes de diciembre, o diferirse hasta la primavera.

La única serie temporal larga con la que se cuenta para analizar la tendencia de las poblaciones de salmón Atlántico en España, la representa los registros oficiales de captura que existen desde 1949. A finales de los 80, este índice de abundancia mostro de un brusco descenso en todos los ríos españoles. En el texto de la Ley 7/1992 de pesca fluvial de Galicia, queda patente la preocupación que ya por entonces existía por la situación de las poblaciones de salmón y reo gallegas, ya que en 2 artículos de esta norma se menciona la necesidad de promover estudios e investigaciones (art. 13) y la preceptiva realización de planes técnicos (art. 18) en aguas habitadas por estas dos especies anádromas en Galicia. También en 1992, la Xunta de Galicia puso en marcha trabajos de recuperación de esta especie. En una primera fase se realizaron estudios para establecer un diagnóstico sobre la situación de las poblaciones gallegas de salmón y diseñar un programa de recuperación. Esta necesidad de obtención de información provoco la recopilación de información previa, que en Galicia era escasa (Dalda y Serantes, 1974), el análisis de las capturas desde 1949, la realización de estudios específicos (estudio sobre el efecto de las repoblaciones con salmones foráneos, radio-seguimiento, análisis escalimétricos de la serie histórica e inventarios de peces y hábitat fluvial) y la construcción de la infraestructura necesaria para la monitorización de algunas poblaciones de salmón y la cría en cautividad de salmones autóctonos.

Estos trabajos dirigidos al estudio del salmón, también produjo una gran cantidad de datos sobre la trucha anádroma. A esta información contribuyó que desde la temporada de pesca 1993 con la publicación de la Ley 7/1992 de pesca fluvial en Galicia, la declaración de las capturas de reo era obligatoria. Por último, reseñar que desde entonces la escasez de estudios

publicados sobre el reo en la península ibérica en el final del siglo XX se ha ido parcialmente paliando en los últimos años. Si bien tan solo se pueden citar unos pocos estudios en los últimos 30 años: Alvarez-Riera (1985); Toledo et al. (1993); Toledo (1996); Caballero y García de Leániz (1992); Caballero (1993); Caballero (2002), Caballero et al. (2002), Caballero et al. (2006), Marco-Rius et al. (2012; 2013).

Por último, cabe destacar que el interés por estos peces abarca diferentes ámbitos. Por una parte, resulta importante su papel como indicadores de la calidad del medio acuático. Su presencia en masas de agua, indica que la calidad de esos hábitats es cuando menos aceptable. Por supuesto, que la pesca deportiva de salmones y reos en Galicia es una pasión para un importante número de ciudadanos, y por ello son una fuente de ingresos nada despreciable para las maltrechas economías rurales en las áreas por las discurren ríos con salmones, reos y truchas. Los salmónidos también son quizás, el grupo de peces al que más estudios e investigaciones se le dedican, por una parte es debido a razones prácticas, al representar una fuente importante de ingresos por pesca tanto deportiva como comercial y acuicultura. Sin embargo, su estudio también tiene un interés puramente científico, ya que sus poblaciones representan sujetos idóneos para el estudio de la biología evolutiva.

Material y Métodos

Los datos y muestras que posibilitaron obtener un mayor conocimiento de la biología de las poblaciones gallegas de salmón Atlántico y reo, fueron obtenidos de tres fuentes distintas: Pesquería, Estaciones de captura y pesca eléctrica. Otras labores como la determinación de la edad a partir de la lectura de escamas, el marcado de reos y salmones, junto al estudio de la reproducción en piscifactoría, han completado la información necesaria para poder estudiar estos peces.

Pesquería

Con la publicación de la Ley 7/1992 de pesca fluvial en Galicia se hizo obligatorio el declarar las capturas de reo, algo que ya ocurría con el salmón desde 1942. Esto ha aportado gran cantidad de muestras y datos de reo, ya que aparte de los datos biométricos también se obtuvieron muestras de escamas. En los centros de guiado y precintado de salmones y reos que existen en distintos ríos gallegos, se miden, pesan y se toman escamas de todos los individuos que se llevan a ellos para declarar su captura. También se anotan en una ficha de captura todas las observaciones pertinentes realizadas por personal de los Servicios de Conservación de la Naturaleza.

Gracias a la recopilación de estos datos, contamos en la actualidad con una base de datos de más de 30000 reos (1995-2012) y de casi 23000 salmones (1949-2012). Estos individuos fueron pescados en la pesquería de diversos ríos, y se cuenta con sus datos biométricos y muestras de escamas en la mayoría de los casos. En el caso de los reos, se realizó la determinación de la edad para ocho poblaciones de ríos gallegos entre 1995 y 2002 que incluyó un total de 16000 reos. En el caso del salmón, se cuenta con los datos del número de salmones capturados cada año desde 1949 hasta la actualidad, aunque falta la información de longitud, peso y escamas de algunos años, sobre todo de las décadas de los 60 y 70 de algunos ríos, se ha determinado la edad fluvial de un tercio de la muestra y la edad marina del total.

Estaciones de captura

Consiste en trampas situadas, normalmente en dispositivos de franqueo de obstáculos artificiales, que permiten la captura de peces en su remonte o descenso por el río, con el menor daño posible. Estas instalaciones se utilizan para la obtención de reproductores para los programas de cría en cautividad de salmones gallegos. Algunas de estas estaciones se utilizan para el estudio de las comunidades de peces migratorios, permitiendo analizar la evolución de las poblaciones de peces diádromos, al operar todo el año, durante una mínima serie temporal. De esta forma han proporcionado gran parte de la información utilizada en este artículo. Varias estaciones aportaron información a estas labores, son: la estación de Ximonde (río Ulla), Bora (río Lérez), Louzao (río Liñares - Cuenca del Ulla), A Freixa (río Tea – Cuenca del Miño), Pé de Viña (río Eo) y Landrove (río Landro). Todas estas instalaciones cuentan con dispositivos que permiten la captura de peces durante su remonte, pero tres de ellas (Ximonde, Liñares y A Freixa) también permiten o permitieron la captura de peces durante su descenso por el río.

Los dispositivos de captura son inspeccionados al menos una vez al día, todos los días del año, y con mayor frecuencia durante los picos de migración. Un sistema de compuertas, que regula la entrada de agua a las trampas, permite una fácil manipulación de los peces, de tal manera que su captura se realiza causándoles el menor daño posible. Tras ello, los peces son anestesiados y de cada individuo se toma al menos la longitud furcal, el peso y una muestra de escamas, para la posterior determinación de la edad. También se anotan ciertas características externas, gracias a todo ello, podemos incluir los salmónidos capturados, en una de las siguientes fases vitales de su ciclo vital, según la terminología habitualmente utilizada (Allan Ritter, 1977): alevín, pinto, vironero (macho precoz, sexualmente maduro), pre-esguín, esguín, post-esguín o finnock (solo en reos), adulto de retorno (añal o multivierno marino) y zancado (post-reproductor). Tras esta toma de información y muestras, los peces son devueltos al río siguiendo su ruta natural de migración, con la única excepción del traslado de reproductores a la piscifactoría para su utilización en programas de conservación. Otro importante parámetro obtenido en todos los estudios de peces es el factor de condición “K” o índice de Fulton, el cual relaciona peso y longitud, y ofrece información sobre el estado fisiológico o condición del animal en el momento de la captura ($K = 100 \times \text{Peso en g} / \text{Longitud}^3 \text{ en cm}$).

Para la comparación de salmones y reos que realizamos en este trabajo, se utilizan fundamentalmente la información obtenida en la estación de Ximonde (río Ulla) porque estimamos que constituyen los datos que mejor caracterizan las poblaciones gallegas de estos peces de los ríos que vierten al océano Atlántico, y por ser la serie más larga (1993-2012) de una fuente de información de adultos y juveniles. Para determinadas comparaciones entre reo y salmón, descartamos la información de la pesquería al representar solo una parte de los movimientos anuales de los peces y ser algo selectiva. Sin embargo, cuando no existe información estaciones de captura (que son la mayoría de las poblaciones) la pesca es la única fuente disponible. Tampoco hemos optado por mezclar diferentes poblaciones, ya que las diferencias observadas entre poblaciones de salmónidos, podrían sesgar los datos obtenidos.

Pesca eléctrica

La pesca eléctrica constituye una herramienta casi imprescindible en el estudio de los peces fluviales. Además de facilitar la captura de ejemplares, posibilita la estima de la abundancia mediante diferentes métodos, principalmente de juveniles en zonas poco profundas del río.

Por ello, complementa adecuadamente la información obtenida en estaciones de captura. Desde 1996 se vienen realizando muestreos anuales de juveniles de salmón en las poblaciones gallegas de este pez. Esos trabajos junto a muestreos periódicos de otras especies, aunque no con la misma frecuencia que los de salmón, proporcionan datos sobre la evolución, distribución y también sobre la biología de los peces fluviales gallegos.

Determinación de la edad

En numerosos peces la edad puede ser determinada sobre estructuras óseas tales como escamas, otolitos, radios de aletas y opérculo, en las cuales se ve reflejado el resultado de fluctuaciones estacionales del crecimiento. Las escamas son las estructuras más comúnmente utilizadas en salmónidos, por su facilidad de extracción y por no causar un grave traumatismo al pez. La escalimetría permite no solamente determinar la edad del pez, sino que también posibilita reconocer diferentes fases vitales que ocurren en medios distintos (muy importante para discriminar entre reo y trucha residente), conocer las reproducciones que ha realizado y en qué momento (al detectarse las “*marcas de freza*”). También posibilita estimar el crecimiento de los individuos mediante el retrocálculo de las escamas. Las escamas poseen unas estrías generalmente concéntricas que rodean el núcleo, éstas son denominadas *circuli* y constituyen la cara exterior de las finas laminillas en placas, que forman la escama al ritmo del crecimiento del pez. Un crecimiento rápido del pez se traduce por, la presencia en la escama de *circuli* gruesos y muy espaciados entre ellos, mientras que en un periodo de crecimiento lento, los *circuli* son más finos y apretados. De esta manera en cada invierno, ya sea fluvial o marino, se forma en la escama un anillo característico (*annulus*). En regiones templadas con estaciones bien marcadas, las zonas anuales (*annuli*) están constituidas por la alternancia de bandas de crecimiento con *circuli* espaciados y *circuli* apretados. El número de *annuli* presentes en una escama permite determinar la edad de un pez. En el caso de un pez anádromo, salmón o reo, es posible distinguir la fase juvenil que tiene lugar en el río de la fase de crecimiento marino, donde los *circuli* son más gruesos y más espaciados que en el río. El establecimiento de la edad fluvial y marina en los distintos individuos analizados, permite conocer la edad media de esguinado y de mar de la población.

Marcado

Gracias a las labores de marcado de salmónes y reos en distintas fases vitales tanto en peces salvajes como repoblados se ha podido iniciar el estudio de las migraciones marinas de estos peces, hasta ahora inéditas en Galicia. Esto también permite establecer con mayor exactitud el grado de “*homing*”, término inglés que define la habilidad o fidelidad de los salmónidos anádromos de retornar a su río natal. En el caso del salmón por medio del micromarcado sistemático de juveniles realizado desde 1997 de gran parte de los individuos repoblados se han obtenido diversas recapturas en el océano. Las micromarcas magnéticas es un sistema de marcaje que se utiliza principalmente en salmónes (sobre todo del Pacífico), aunque también se usan en otros peces o incluso en moluscos o crustáceos. Consiste en una especie de pequeño alambre de 1 mm de largo, que lleva grabado un código numérico. Esta marca viene en rollos de una variable cantidad de micromarcas de igual código, un aparato hace que sean cortadas, magnetizadas e insertadas en el cartilago nasal del pez. Los peces a los que se les introduce también se les hace una marca externa, en salmónidos se les corta la aleta adiposa, así cuando se detecta un pez sin adiposa, se pasa por un detector de micromarcas y en el caso que el pez este marcado, se le extrae la marca y se lee con una lupa. Este sistema tiene la ventaja de permitir marcar muchos peces en poco tiempo (aproximadamente 1000/hora), pero también tiene el inconveniente de que al ser un sistema diseñado para pesquerías, el pez debe

estar muerto para poder extraer y leer la marca, otro inconveniente es que solo permite marcas de grupo y no individuales.

En el caso de los reos las marcas utilizadas fueron las de tipo Floy, que permiten la identificación individual externa cuando un pescador lo captura. Consisten en pequeños cilindros tipo “espagueti” de diferentes tamaños y colores, que llevan impreso un código numérico individual y un teléfono o dirección de aviso, y que se anclan en la base de la aleta dorsal.

En este año 2013 y dentro del programa de investigación internacional denominado “Salmontrack”, se marcaron en la piscifactoría de Carballedo (Cotobade – Pontevedra), 7 zancados de salmón del río Lérez a los que se le implantaron unas sofisticadas marcas tipo PSAT (Pop-up Satellite Archival Tags). Estos 7 salmones fueron soltados en Raxó (Ría de Pontevedra) a mediados de marzo. Este sistema está recogiendo información del medio continuamente, la ventaja que tiene con respecto a otros sistemas, es que no necesita de la recaptura del pez, ya que bien a los 6 meses de su aplicación o por otros motivos (normalmente por predación), la parte que archiva información se desprende del pez, llega a la superficie del agua y los satélites pueden captar la información almacenada.

Estudio de la reproducción

Por último, para la consecución de parámetros reproductivos (fecundidad, tamaño del huevo) se utilizó la información obtenida mediante el traslado a piscifactoría de reproductores salvajes de reo y salmón. La fecha de ovulación se ha determinado por el control de hembras procedentes del río Ulla, Lérez y Tea, que fueron utilizadas para efectuar reproducciones artificiales. Tras el desove, el número de huevos es contado bien a través de una placa de metacrilato con 500 orificios o mediante volumetría. El diámetro del huevo se obtiene en un ictiómetro midiendo al menos 3 series de 10 huevos cada una.

La proporción de sexos se establece por criterios morfológicos, utilizando solo los individuos capturados en las estaciones tras el verano, ya que solo entonces es cuando comienza la aparición de caracteres sexuales secundarios y por lo tanto se puede realizar un sexado fiable.

La edad de reproducción y el número de frezas se conoce mediante la lectura e interpretación de las escamas, mediante la detección de las denominadas marcas de freza.

Resultados

Distribución

En la figura 1 se observa con claridad la drástica reducción en la distribución del salmón en los ríos que vierten al Océano Atlántico, durante la segunda mitad del siglo XX. En 1950 el salmón habitaba hasta los 41° de latitud norte, en el río Duero. En la actualidad, el río más al sur donde aún quedan poblaciones de salmón es el Limia, ya cerca de los 42° N. Otros ríos gallegos atlántico donde el salmón ha desaparecido o entra ocasionalmente pero sin formar poblaciones estables son: el Verduxo-Oitavén, el Umia, el Tambre, el Grande do Porto o de Baio, el Anllons, el Grande de Xubia, el Eume y ya en el inicio del Mar Cantábrico, el Sor. Los ríos donde se considera que aún habita el salmón son: Miño (hasta la presa de Frieira), Lérez, Ulla (hasta la presa de Ollares), Mandeo, Mera, Landro, Masma, Ouro y Eo. En estos ríos el área de distribución del salmón se ha mermado ostensiblemente por la construcción de

presas, fundamentalmente hidroeléctricas. El caso más llamativo es el del río Miño, el río salmonero español más largo, en el cual se conoce que el salmón podía llegar hasta la ciudad de Lugo (De la Peña, 1945). En los ríos en los cuales estos aprovechamientos han dejado un tramo importante, se ha posibilitado la permanencia de poblaciones de salmón, aún a pesar de que la fragmentación del hábitat y la regulación de caudal afecta de forma negativa a la supervivencia de la población.

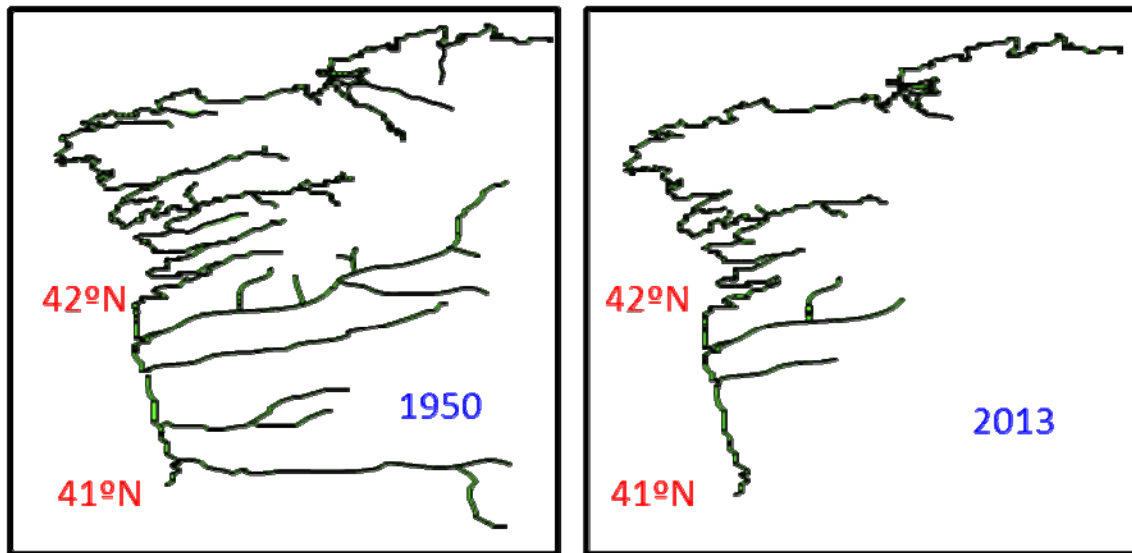


Figura 1. Reducción de la distribución del salmón atlántico en los ríos que vierten al Océano Atlántico entre 1950 y 2013.

Mención aparte merece el caso del río Lérez, debido a que de estar prácticamente extinguido a primeros de los 90, paso a recuperar su población de salmón gracias la mejora de la accesibilidad para los peces migratorios, mediante la mejora de dispositivos de franqueo en varias presas de los 3 km del río más cercanos al mar y un programa de repoblaciones con salmón autóctono. Estos trabajos permitieron que en la actualidad los peces migratorios lleguen hasta la presa de San Xusto (situada a 25 km del estuario) permitiendo la colonización de salmones y reos de un hábitat no utilizado desde la construcción de la presa de Bora sobre los años 60.

La distribución del reo en Galicia es notablemente mayor que la del salmón, ya que por una parte ocupa pequeños cauces costeros en los cuales el salmón no entra. Por otra, en algunos ríos en los que la construcción de presas ha hecho desaparecer al salmón, el hábitat que queda sí que permite el mantenimiento de poblaciones de reo. De esta manera el reo habita en todas las cuencas gallegas, excepto el Xallas (al desembocar en el conocido salto de Ézaro), si bien su área de distribución se encuentra muy mermada si se compara con la que tenía en 1950.

Características biométricas y demográficas

La información utilizada para caracterizar reos y salmones ha sido obtenida en el río Ulla, concretamente en la estación de Ximonde durante los últimos 20 años. En la Tabla 1, se observa la información obtenida a partir de la muestra de esguines de salmón y reo controlados en Ximonde. La muestra incluye datos biométricos y la determinación de la edad, mediante lectura de escamas, de 882 de 950 esguines de reo y 1714 de 14551 esguines de salmón que se controlaron entre 1993 y 2012. También se podrían haber utilizado los datos de determinación de la edad de esguines obtenido a través de la determinación de la edad fluvial en adultos de reo y salmón, pero se considera más fiable la determinación de la edad sobre escamas de juveniles.

En el caso del reo se detectaron tres clases de edad de esguines mediante la lectura de escamas de esguines (entre 1 y 3 años), se conoce la existencia en el Ulla de esguines de 4 años de río que sin embargo en esta muestra no se detectaron. En salmones solo se detectaron esguines de 1 y 2 años. Llama la atención, que en salmón predominen los esguines de 1 año, mientras que en reo la mayoría sean de 2 años, asimismo la talla media en esguines de reo (21,71 cm) es muy superior a la encontrada en salmones (16 cm). De esta forma encontramos una diferencia de 1 año en la edad media de esguinado entre los juveniles de reo y salmón del río Ulla, mientras en reos la edad media es de 2,17, en salmones es de 1,16.

Tabla 1. Características biométricas y demográficas de juveniles de salmón Atlántico y reo del río Ulla. Clases de edad de esguinado. Estación de Ximonde 1993-2012.

	Edad Fluvial	n	%	Longitud Furcal (cm)	Peso (kg)
Reo	1	26	2,95	15,55	47,28
	2	679	76,98	21,50	103,98
	3	177	20,07	23,43	133,89
	Total	882	-	21,71	108,56
Salmón	1	1434	83,66	15,56	37,53
	2	280	16,33	18,35	61,12
	Total	1714	-	16,01	41,33

En cuanto a la comparación entre adultos de reo y salmón del río Ulla, se realizó sobre una muestra de todos los salmones capturados en 20 años (2217 adultos de salmón, edad de mar estimada a partir de la talla) y 1912 reos de una muestra de 5097 (edad determinada a partir de la lectura de escamas). Cabe destacar las importantes diferencias entre las dos especies, 40 cm. de talla media en reos frente a 74,4 cm. en salmón, y la presencia de post-esguines en reos (adultos que retornan al río el mismo año en que esguinan). También destacamos las importantes diferencias en el crecimiento marino, destacando que la talla que alcanza un reo tras 3 años de estancia en el mar (59 cm) es similar a la alcanzada por un salmón en un año (61 cm). Como consecuencia de las diferentes proporciones de las diferentes edades de mar obtenidas la edad media de mar varía notablemente entre las dos especies, siendo al revés que en la edad fluvial, muy superior en salmón (1,89 años) que en reo (0,63).



Fotografía 1. Esguín de salmón (arriba) y esguín de reo (abajo). Diferencias en tamaño, pintas, tamaño de cabeza y boca, tamaño aletas pectorales y pedúnculo caudal.

Tabla 2. Características biométricas y demográficas de adultos de salmón Atlántico y reo del río Ulla. Clases de edad de mar. Estación de Ximonde 1993-2012.

	Edad Marina	n	%	Longitud Furcal (cm)	Peso (kg)
Reo	0	961	50,26	34,75	0,52
	1	740	38,70	44,84	1,16
	2	168	8,79	51,31	1,72
	3	43	2,25	58,85	2,66
	Total	1912	-	40,09	0,81
Salmón	1	272	12,69	60,99	1,84
	2	1840	85,82	76,15	4,50
	3	32	1,49	90,98	8,47
	Total	2217	-	74,44	4,40

En la figura 2 es el histograma de frecuencia de tallas de la población de reos y salmónes controlada durante 20 años en el río Ulla. En el se observan nítidamente las grandes diferencias de su ciclo vital. Por una parte, una mayor duración de la fase fluvial en reos que les permite alcanzar una mayor talla que los esguines de salmón. Mientras que entre la fase juvenil y la adulta de salmónes se detecta un gran espacio, que en reos no se observa, esto es debido al mayor crecimiento marino que los salmónes obtienen desplazándose a mayor distancia y no retornando a su río hasta al menos tras permanecer un año en el mar.



Fotografía 2. Adulto de salmón (arriba, añal 1 invierno de mar, unos 60 cm) y reo (abajo, unos 52 cm).

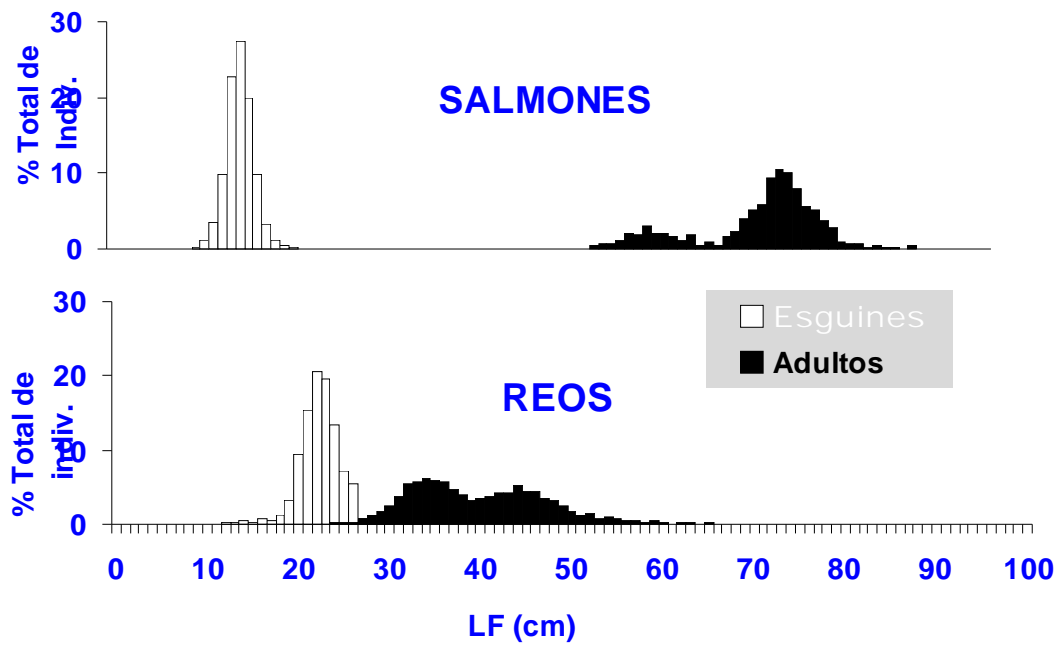


Figura 2. Histograma de frecuencia de tallas de la población de salmón y reo del río Ulla. Estación de Ximonde 1992 – 2012.

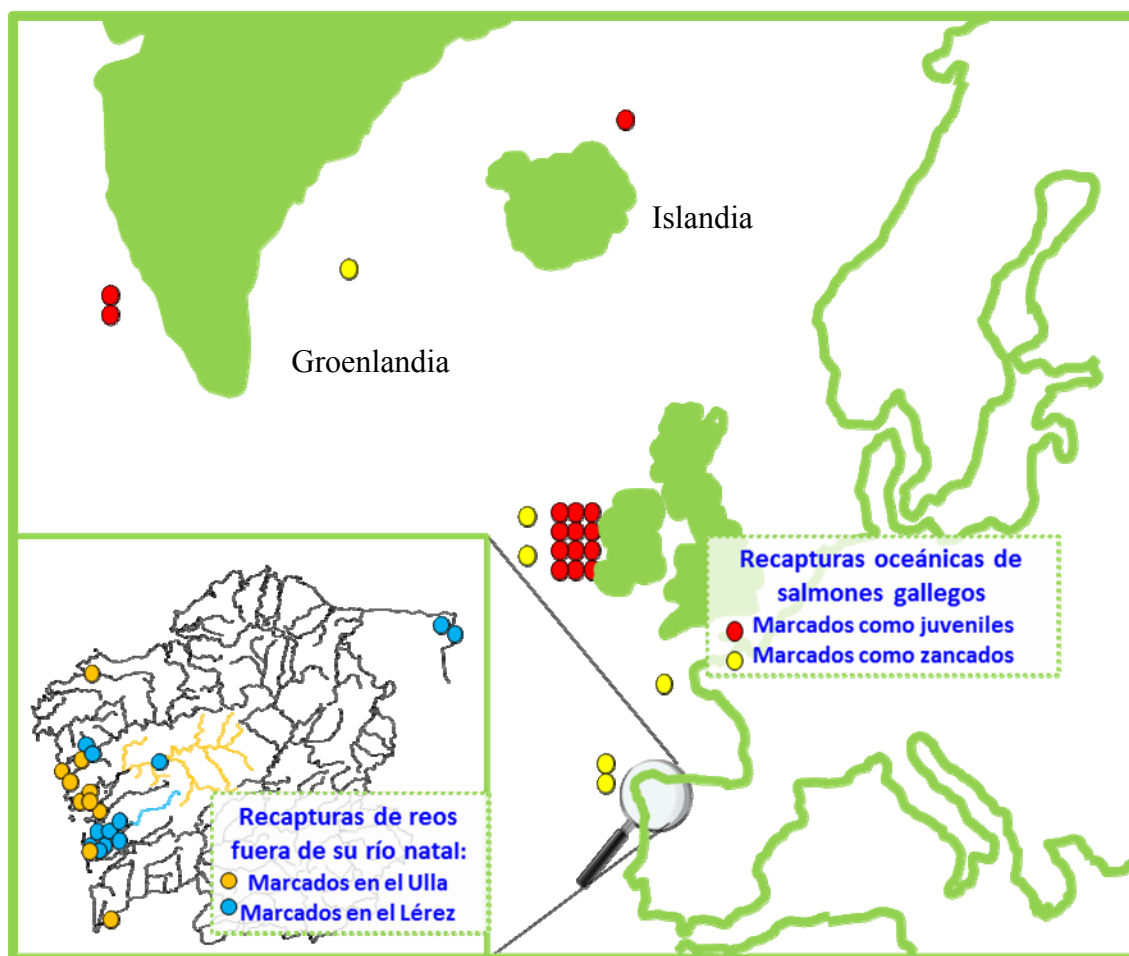


Figura 3. Recapturas de salmones y reos gallegos en el mar (y, en reos, también fuera de su río natal).

Movimientos en el mar

Tras abandonar el río como esguines en primavera, las dos especies toman caminos muy diferentes. En la figura 3 se observan las recapturas de salmones y reos marcados en ríos gallegos. En el caso del salmón se han obtenido 21 recapturas en el mar, 15 de ellas de peces marcados como juveniles en la piscifactoría de Carballedo y soltados en ríos de Pontevedra (Ulla, Lérez y Miño), y de 6 de ellos se obtuvo información de sus sofisticadas marcas PSAT, tras serles insertadas como zancados. Estas “recapturas” de post-zancados fueron registradas por satélites entre uno y tres meses tras su suelta, en lugares que se interpretan como de paso hacia sus áreas de alimentación definitivas. En concreto estos salmones fueron registrados frente a la costa de A Coruña, Bretaña, costa oeste de Irlanda y uno entre Islandia y Groenlandia.

El resto de recapturas de salmón fueron comunicadas por organismos de investigación marina extranjeros que obtuvieron en el mar micromarcas de salmones repoblados por la Xunta de Galicia. Doce de estos salmones fueron capturados entre los años 2001 y 2006 en una pesquería de redes de deriva que existía en la costa oeste de Irlanda. Cabe destacar que todas estas recapturas eran de salmones añales (1 invierno marino) y que fueron interceptados

cuando se dirigían de retorno a ríos gallegos. El resto de las micromarcas comunicadas fueron de dos salmones adultos (originarios del tea y del Ulla) pescados en la costa oeste de Groenlandia y una de un post-esguín capturado entre la costa este de Islandia y las islas Faroe, dos meses tras su suelta en el río Lérez.

En la figura 3 también se incluyen (en el recuadro menor) las recapturas de reo fuera de sus ríos de origen. Se obtuvieron un total de 24 recapturas entre los años 2000 y 2009, 14 de ellas de peces marcados en el río Lérez y 10 en el Ulla. La mayoría de los peces fueron recapturados en la misma ría del marcado o en rías cercanas, con algunas llamativas excepciones, como la de dos reos que tras ser marcados en el Lérez fueron recapturados en el río Cares, o reos del Ulla recapturados en el río Anllons o en el río Miño.



Fotografía 3. Reo con marca Floy

Retorno al río

En este apartado, cabe reseñar que del marcado de miles de salmones y reos, tanto salvajes o de repoblación, como juveniles o adultos, junto a las labores de control de las poblaciones realizadas en dos ríos cercanos como el Ulla y el Lérez, se desprende que tanto reos como salmones poseen una fidelidad de retorno a su río natal o “*homing*”, elevada. Efectivamente, se han detectado muy pocos errores de peces retornando fuera de su río natal, en concreto para los salmones de repoblación se ha obtenido tasas de retorno entre el 80 y el 90% en los ríos Ulla y Lérez, siendo fácil suponer que en las poblaciones salvajes esta tasa será superior. Mientras que en reos, si bien se han capturado reos introduciéndose en ríos fuera del suyo natal, han sido en muy escaso número, y por ejemplo, entre los miles de reos controlados en las estaciones de los ríos Ulla y Lérez, solo se ha detectado uno de ellos que se “*equivocara*”.

Para conocer la entrada de salmones y reos en el río procedentes del mar, utilizamos el control de estos peces en la estación de Ximonde durante los últimos veinte años. Esta información es parcialmente indicativa del momento entrada de los peces anádromos en el río. Los peces que se controlan al principio del año (a partir del mes de marzo) son casi siempre recién entrados en el río, como se demuestra por la librea plateada, algunas características (ej: presencia de pulga de mar, factor de condición superior a 1,...) o la lectura de escamas. Sin embargo, a partir del mes de octubre se produce una segunda migración anual, con fines reproductivos, casi siempre realizada por peces que llevan meses en el río.



Fotografía 4. Zancados de salmón tras la implantación de las marcas PSAT

En la figura 4 se pueden apreciar algunas diferencias en la entrada en el río entre reos y salmones. Estos últimos entran antes, a partir del mes de marzo, aunque en un número muy bajo, y los meses de mayor número de salmones controlados son mayo y junio. En reos la entrada se retrasa al menos en un mes, no se detectan hasta abril, también en número escaso, y los meses de mayor entrada son junio y sobre todo julio. Tras este período de entrada del mar primavera-verano, se produce una parada en los movimientos coincidiendo con el estiaje (agosto-septiembre). En el mes de octubre, normalmente coincidiendo con el inicio de las lluvias de otoño, se produce otro pico de movimientos aunque no tan importante como el que se inicia en primavera.

En la figura 5 se muestra como varía la edad media de mar de los salmones y reos a lo largo del año en el río Ulla. Se aprecia claramente, tanto en reos como en salmones, que los primeros peces que entran en el río son los de mayor edad marina. En un análisis más pormenorizado de las edades de los salmones y reos, se aprecia como los salmones que llegan antes del mar son los de los grupos de mayor edad o de reproducción múltiple, en concreto los de 3 inviernos de mar o segundo desove en salmones y, en reos los de 2 inviernos de mar o

segundo y tercer desove. Los grupos de peces de las dos especies de menor tiempo de permanencia en el mar (añales o salmones de 1 año marino ó en reos los finnock/s/post-esguines), entran en el río más tarde, a partir del inicio del verano, tal y como se aprecia en la figura con el descenso de la edad media de mar en las dos especies.

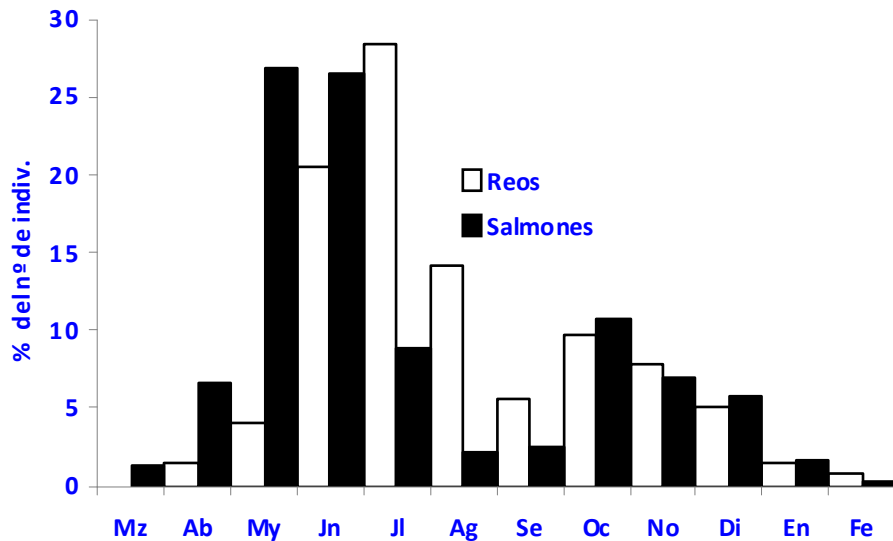


Figura 4: Proportión mensual de reos y salmones controlados en la Estación de Ximonde 1993-2012.

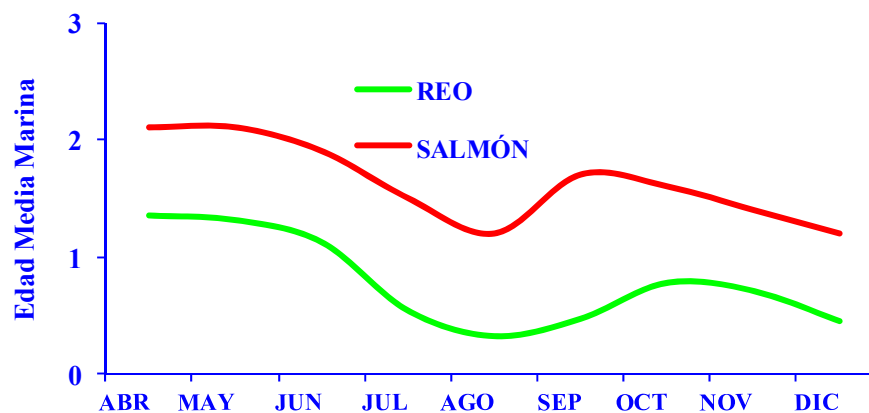


Figura 5: Variación Mensual de la Edad Media Marina en salmones y reos, Estación de Ximonde 1993-2013.

Parámetros reproductivos

Como cabía esperar, se encuentran grandes diferencias entre salmones y reos en aspectos relacionados con la reproducción. Una de las diferencias que nos encontramos, es la proporción de sexos. Mientras que para los salmones controlados en el río Ulla, la sex ratio es de 1,66 hembras por cada macho, entre los reos este parámetro es de 2,7 hembras por cada macho.

Para conocer el momento de la reproducción de salmones y reos hemos utilizado la fecha de ovulación, obtenida durante dos años consecutivos al realizar la reproducción artificial en la piscifactoría de Carballedo con reproductores salvajes del río Ulla. En la figura 6 se aprecian importantes diferencias. En salmones la ovulación comienza antes, sobre el 20 de noviembre y en reos comienza un mes después, hacia finales de diciembre. El 75% de los desoves en salmones había finalizado hacia el 10 de enero, mientras que en reos esto sucedía a finales de enero. En salmones el 25 de enero finalizaba el desove, y en reos se prolongaba hasta el 15 de febrero.

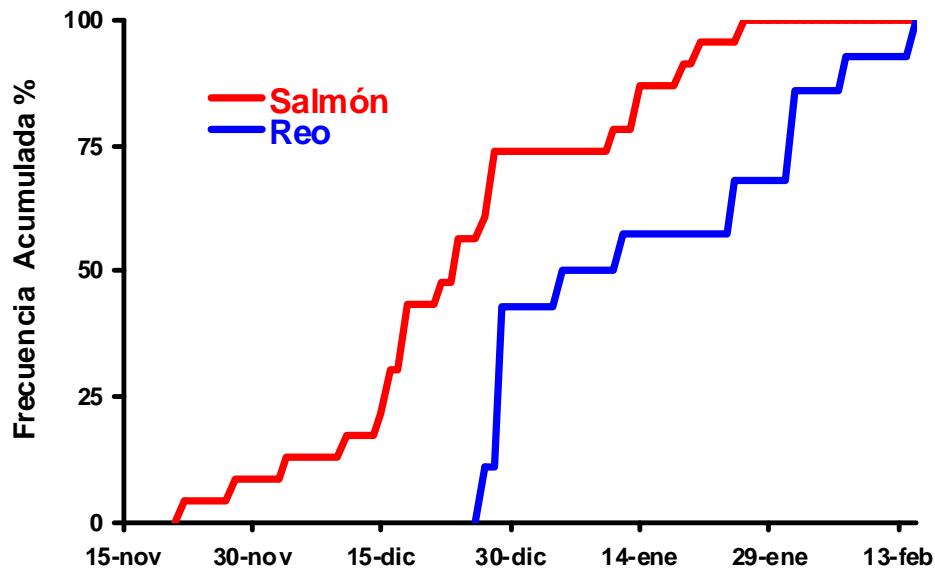


Figura 6: Calendario del desove de reos y salmones del Ulla

En la figura 7 se aprecian importantes diferencias tanto en el número absoluto de huevos (fecundidad absoluta), mucho más alto en salmones por su mayor peso, como en el número de huevos por peso vivo (fecundidad relativa), que es significativamente más alto en reos que en salmones. También existen grandes diferencias en el diámetro del huevo, mientras en reos la media es de 4,5 mm en salmones casi llega a los 6 mm.

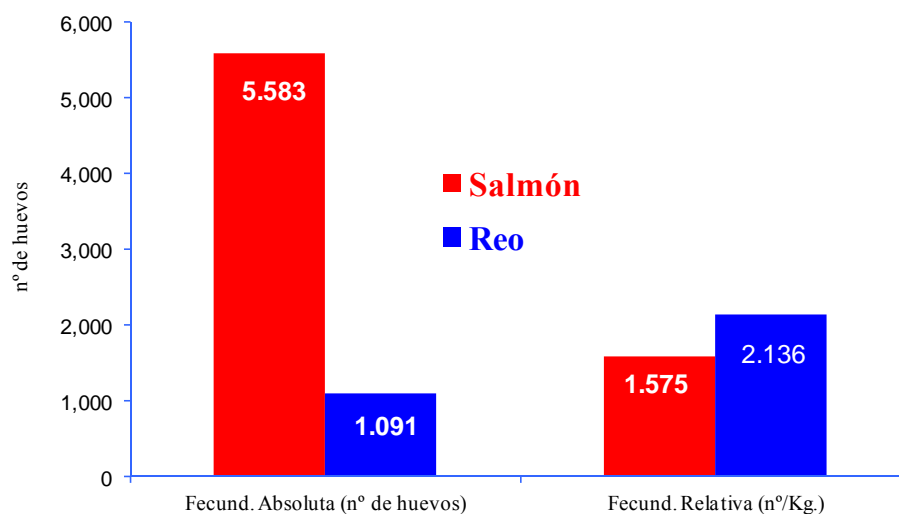


Figura 7: fecundidad absoluta y relativa en salmones y reos del río Ulla

Otra importante diferencia reproductiva entre salmones y reos es la tasa de Iteroparidad o proporción de reproductores múltiples. Mediante el análisis escalimétrico de 19264 salmones procedentes del registro oficial de capturas de los ríos gallegos, conocemos que 147 tenían una marca de freza. Esto indica que un 0,76% de los salmones volvían a reproducirse por segunda vez a un río gallego.

Como se puede observar en la figura 8, la proporción de reproductores múltiples en reos es muy diferente. Existe una gran variación en este valor entre las diferentes poblaciones gallegas estudiadas, ya que la proporción de reos que vuelven al río para reproducirse al menos por segunda vez, varía de un 35% obtenido entre los reos pescados en el río Sor a un aproximadamente 15% entre los reos pescados en los ríos Ulla y Tambre. La media para toda la muestra de 16.000 reos analizados entre los años 1996 y 2002 en 8 ríos gallegos, fue que un 23% de estos reos se habían reproducido al menos una vez.

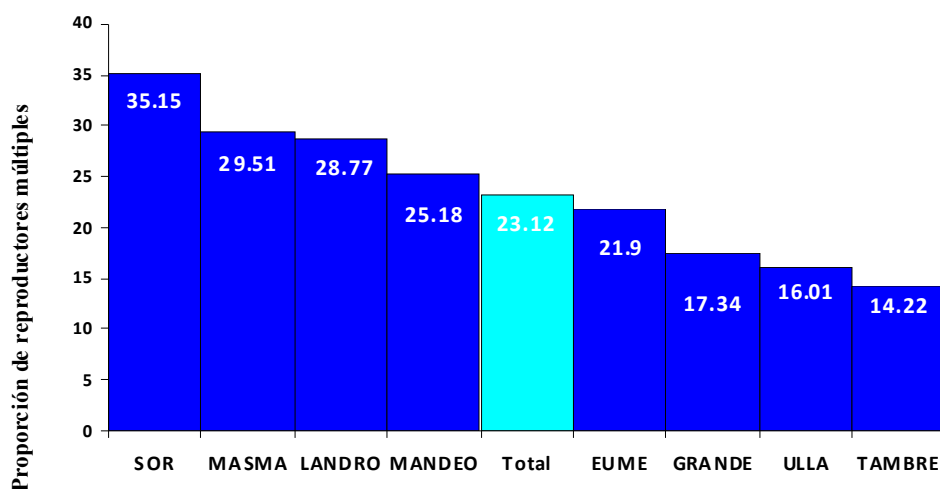


Figura 8. Proporción de reproductores múltiples en las poblaciones de reo de 8 ríos gallegos

De los 147 salmones en los que detectaron marcas de freza de los casi 20.000 analizados, 4 venían a desovar por tercera vez, ya que mostraban 2 marcas de freza en sus escamas. Esto indica que de los reproductores múltiples de salmón (0,76% de la muestra) solo un 2,72% volvía para reproducirse por segunda vez y ninguno conseguía volver una tercera. Entre los reos la proporción de individuos que se reproducen más de una vez también es muy superior. Aunque en la tabla 3 solo se incluyen reos que realizaron hasta cuatro reproducciones, entre los reos gallegos se han detectado individuos con hasta 6 marcas de freza. Las diferencias entre las poblaciones de reo en esta tasa vuelven a ser notables, por ejemplo, vuelve a destacar el río Sor con casi un 10% de los reos con 2 reproducciones mientras que en otras poblaciones son menos del 1%. Como resumen cabe indicar que cerca del 20% de los reos gallegos retornan al río para reproducirse por segunda vez y casi el 4% al menos por tercera.

Tabla 3. Número de reproducciones en ocho poblaciones de gallegas de reo

Río	0		1		2		3		4		n
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Eume	3396	78,10	859	19,76	78	1,79	9	0,21	6	0,14	4348
Grande	839	82,66	165	16,26	8	0,79	3	0,30	-	-	1015
Landro	401	71,23	140	24,87	20	3,55	2	0,36	-	-	563
Mandeo	1917	74,82	552	21,55	83	3,24	9	0,35	1	0,04	2562
Masma	203	70,49	65	22,57	20	6,94	-	-	-	-	288
Sor	1978	64,85	756	24,79	285	9,34	23	0,75	8	0,26	3050
Tambre	2637	85,78	394	12,82	43	1,40	-	-	-	-	3074
Ulla	1002	83,99	188	15,76	2	0,17	1	0,08	-	-	1193
Total	12373	76,88	3119	19,38	539	3,35	47	0,29	15	0,09	16093

Discusión

El salmón atlántico y la trucha común son especies “hermanas”, morfológicamente son parecidas, pero si las comparamos a nivel individual o poblacional, encontramos tanta variabilidad, que en ocasiones se requieren expertos especializados en la materia, para realizar una correcta identificación de las especies (Jonsson Jonsson, 2011). Pero si se efectúa un análisis más profundo se encuentran muchas diferencias fenotípicas y también ecológicas.

El salmón atlántico, en su área natural de distribución, cuenta con algunas poblaciones que permanecen toda su vida en agua dulce (denominadas “*holobióticas*”, potamódromas o “*landlocked*”), esto no sucede en el sur de Europa y mucho menos en la península Ibérica. Sin embargo, la trucha común en la península Ibérica posee una mayoría de poblaciones potamódromas aunque también presenta numerosas poblaciones anádromas pero restringidas a ríos cantábricos y del noreste peninsular. Esto unido a su gran capacidad de adaptación, hace que la trucha esté presente en gran parte de los cursos de agua de Galicia, explora pequeños regatos, ríos, estuarios y las rías. Ambas especies se complementan en cierta medida a la hora de ocupar el hábitat del que disponen, la preferencia de la trucha por aguas más lentas que las que prefiere el salmón, y los largos desplazamientos oceánicos del salmón, hacen que estas especies hayan evolucionado durante miles de años en estas latitudes optimizando el aprovechamiento de los recursos tróficos y de espacio, tanto en agua dulce como en el mar, ocupando, en su fase juvenil casi toda el área fluvial gallega. En el caso de la trucha, también engloba dentro en sus áreas de colonización, los embalses artificialmente formados en la segunda mitad del siglo pasado. Sin embargo, el desarrollo experimentado en Galicia durante la segunda mitad del siglo XX no ha respetado las rutas de migración de estos peces ni la calidad de su hábitat de reproducción y de desarrollo juvenil. De esta forma, la destrucción, la alteración y el fraccionamiento del hábitat fluvial, ha afectado a la mayor parte de los ríos de Galicia, provocando la extinción de varias poblaciones de salmón y poniendo en peligro a muchas otras, incluidas varias poblaciones de reo.

Las diferencias encontradas en cuanto a las características biométricas y demográficas entre ambas especies son muy notables, y en el caso de los salmones reflejan, una menor dependencia por el medio fluvial que la que muestran los reos. Los juveniles de reo permanecen más tiempo en el río y lo abandonan a un tamaño superior que el de los esguines de salmón. Esto puede estar relacionado con una menor habilidad para regular el contenido

iónico del agua (Hoar, 1976). Los salmones tienen un mayor tiempo de permanencia en el mar que los reos, mientras que estos en muchas de ocasiones apenas permanecen pocos meses en agua salada. Diversos estudios también han mostrado diferencias en diversas características entre las poblaciones de salmónidos. La selección natural a través de generaciones, adapta las poblaciones al ambiente dominante y las condiciones de competencia en los cursos de agua, estas adaptaciones inciden sobre la supervivencia y el éxito reproductor en sus respectivos hábitats (Jonsson y Jonsson, 2011).

Un importante mecanismo que ayuda a que los salmónidos sean capaces de adaptarse a las condiciones ambientales locales, es la habilidad precisa de retorno al río natal, conocida como *homing*. Esta característica, hace posible el retorno a las áreas de reproducción junto a individuos originarios del mismo área (Verspoor et al., 2007). Sin embargo, el aislamiento entre poblaciones producido por el homing, no es absoluto, tal y como también se revela en los datos mostrados para las poblaciones gallegas en este trabajo. Ese grado de “equivocación” o “*straying*” entre poblaciones resulta en un cierto flujo genético entre ellas. Por lo tanto, las poblaciones pueden estar localmente conectadas en grupos de metapoblaciones (Kuparinen et al., 2010).

Los trabajos sobre la estancia en el mar de reos y salmones, resultan más escasos que los realizados en agua dulce, debido a la dificultad que entraña su realización. Sin embargo, en los últimos años y gracias al uso de nuevas tecnologías, el conocimiento sobre esta fase vital se ha incrementado notablemente. Morfológicamente los salmones están mejor adaptados que las truchas para atravesar el océano (Webb, 1988). La trucha en agua salada ocupa principalmente hábitats costeros y estuarios (Berg y Berg, 1987), siendo escasas las veces que son encontradas en mar abierto. Tras el esguinado los reos pueden permanecer en el mar todo el año, sin embargo muchos de ellos prefieren pasar el invierno en agua dulce.

Las razones que impulsan a un salmón o a un reo a retornar a su río de origen tras un tiempo de estancia en el mar, son todavía desconocidas. Los mecanismos que favorecen el homing tienen dos fases, una orientación inicial desde los lugares de alimentación en agua salada hacia la costa, y una fase final en la costa y el estuario hacia el río natal. La literatura sobre el homing de los salmónidos es muy extensa, pero los mecanismos que lo regulan, todavía no han sido explicados del todo bien.

Migración se define (Endler, 1977) como “*movimientos de larga distancia realizadas por muchos individuos más o menos en la misma dirección y en el mismo momento del año*”. Estos movimientos son normalmente seguidos por una migración de retorno, que en el caso de los salmónidos anádromos está dirigida mediante el homing. Salmones y truchas migran porque existen hábitats diferentes para la reproducción, la alimentación y para refugiarse ante adversas condiciones, como pueden ser el invierno o la sequía. Por lo tanto, un pez puede mejorar su “*fitness*” o “*éxito reproductor*” moviéndose entre hábitats en una determinada época del año (Jonsson y Jonsson, 2011). La decisión de por qué y cuándo migrar está regulada por factores genéticos y ambientales, dependen de la especie y el sexo, y en el resultado producido por selección natural, intervienen los beneficios (ej: producción de mayor número de huevos de más tamaño al ir al mar) y los costes de la migración (ej: mayor gasto energético y mortalidad al migrar al mar). En cuanto al momento en el cual reos y salmones realizan la migración de retorno, intervienen complejos factores que probablemente interactúan entre sí. Las variables ambientales que parecen influir en el momento de la migración de retorno al río para reproducirse son la temperatura, las mareas y el caudal. Los salmones al decidir el retorno al río, si las condiciones de caudal son adecuadas, penetran

rápidamente por el estuario para alcanzar el agua dulce. Los reos, sin embargo, suelen permanecer alimentándose o refugiándose un mayor tiempo en aguas salobres. Pero las dos especies una vez que penetran en el río realizan la migración en dos fases. Una primera (en primavera o verano) en la que se adentran en el río hasta encontrar un lugar de parada adecuado a sus necesidades, o un obstáculo que les impide remontar. Una segunda fase que normalmente coincide con las lluvias otoñales, ya cercana a la reproducción, en la que se trasladan de los lugares de parada a los de desove.

Salmones y reos se reproducen en invierno, difiriendo, al menos en estas latitudes, con todo el resto de especies de peces fluviales que habitan con ellos. Salmones y reos utilizan hábitats parecidos para la reproducción, sin embargo, algunas diferencias se encontraron en diversos estudios realizados (Jonsson y Jonsson, 2011). Las truchas se reproducen en lugares de menor profundidad y menor velocidad del agua, mientras que los salmones suelen profundizar más en el sustrato a la hora de depositar los huevos. El momento del desove obtenido en este estudio realizado con reproductores del Ulla, sugiere que los reos se reproducen tras los salmones. Sin embargo, esto no parece coincidir con lo citado para otras poblaciones, en las cuales los reos se reproducen antes (Jonsson y Jonsson, 2011). Debemos por lo tanto contrastar esta información con un mayor tamaño muestral y/o la obtención de datos mediante otra metodología más directa, como puede ser la visualización directa de la reproducción natural.

Las proporciones de sexo obtenidas en este estudio pueden resultar preocupantes, al existir un número aparentemente alto de hembras con respecto a los machos presentes. En el caso de los reos, en la mayoría de las poblaciones estudiadas, están descritas sex ratio similares a las halladas en el Ulla, además es conocido que los machos de trucha residente participan en los desoves para fecundar hembras anádromas. En el caso del salmón, también machos residentes precoces (denominados “vironeros”) que pueden fertilizar hembras anádromas, tal y como se ha descrito en un río gallego (Saura et al, 2006). Sin embargo, en el caso de poblaciones de salmón no es frecuente proporciones tan altas de hembras como las descritas en el Ulla, esta circunstancia puede resultar preocupante en poblaciones en recuperación, con un número de reproductores escaso, al existir la posibilidad de desencadenar fenómenos de hibridación trucha/salmón.

Referencias

- Allan, I. R. H., Ritter, J. A. 1977. Salmonid terminology. J. Cons. Explor. Mer. 37 (3): 293-299.
- Alvarez-Riera, J. 1985. Datos preliminares sobre la biología del reo (*Salmo trutta* L.) en el río Sella (Asturias). Primer Simposio Internacional de estudio, conservación y utilización racional de áreas de pesca de salmónidos. AEMS, Asociación Española de Mosca y Salmónidos.
- Berg, O. K., Berg, M. 1987. Migrations of sea trout, *Salmo trutta* L., from the Vardness River in northern Norway. J. Fish Biol. 31: 113-121.
- Caballero, P., García de Leániz, C. 1992. Within-river variability in migratory behaviour among brown trout populations, *Salmo trutta* L., in the Umia catchment (northwest Spain). J.Fish.Biol. 41, Supl B, 184.
- Caballero, P. 1993. Estrategias migradoras de la trucha común. Canas e fíos, Nº 2: 11-17.
- Caballero, P. 2002. Ciclo vital del reo (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) en la cuenca del río Ulla. Trabajo de Investigación Tutelado, Facultade de Bioloxía, Dpto de Bioloxía Animal, Laboratorio de Hidrobioloxía. Universidad de Santiago de Compostela.

- Caballero, P., García Rego, M. García de Leániz, C. 2002. Estrategias migratorias y reproductivas del salmón Atlántico y la trucha común en la cuenca del río Ulla (Galicia): implicaciones para la conservación de las poblaciones. En García de Leániz, C., Serdio, A. Consuegra, S. (eds) "El salmón joya de nuestros ríos": 155-171.
- Caballero, P., Cobo, F. González, M. 2006. Life history of a sea trout population (*Salmo trutta*) from the NW Iberian Peninsula (River Ulla, Galicia, Spain). In: G.S.Harris and N.J. Milner (eds) Sea Trout: Biology, Conservation and Management. Proceedings of First International Sea Trout Symposium, Cardiff, July 2004. Fishing News Books, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Dalda, J., Serantes, M.R. 1974. El salmón Atlántico, *Salmo salar* L., en aguas ibéricas. Estudio ecológico y biométrico. Trabajos compostelanos de Biología 4: 173-214.
- De la Peña, E. 1945. Indicaciones prácticas para la pesca deportiva en nuestros principales ríos salmoneros. En "El salmón y su pesca en España". Publicaciones de la Dirección General de Turismo.
- Endler, J. A. 1977. Geographic variation, speciation and clines. Princeton University Press, Princeton.
- Hoar, W. S. 1976. Smolt transformation: evolution, behavior and physiology. J. Res. Board Can. 33: 348-365.
- Jonsson, B. Jonsson, N. 2011. Ecology of Atlantic salmon and brown trout. Habitat as a template of life histories. Fish fisheries Series Vol. 33. Springer.
- Kuparinen, A., Tofto, J., Consuegra, S., Hindar, K., Merilá, J. García de Leániz, C. 2010. Effective size of an Atlantic salmon (*Salmo salar*) metapopulation in Northern Spain. Conserv. Genet. 11: 1559-1565.
- Lucas, M. C., Baras, E., Thom, T. J., Duncan, A. Slavik, O. 2001. Migration of freshwater fishes. Blackwell Science Ltd.
- Marco-Rius, F., Caballero, P., Moran, P. García de Leániz, C. 2012. And the last shall be first: heterochrony and compensatory marine growth in sea trout (*Salmo trutta*). PLoS ONE, 7(10), e45528.
- Marco-Rius, F., Caballero, P., Moran, P. García de Leániz, C. 2013. Mixed-effects modelling of scale growth profiles predicts the occurrence of early and late fish migrants. PLoS ONE, 8(4), e61744.
- McDowall, R. M. 1997. The evolution of diadromy in fishes (revisited) and its place in phylogenetic analysis. Reviews in Fish Biology and Fisheries 7: 443-462.
- Nelson 2006. Fishes of the world, 4th edn. Willey, New York.
- Sanford, C. P. J. 1990. The phylogenetic relationships of salmonoid fishes. Bulletin of the British Museum (Natural History) (Zool) 56: 145-153.
- Saura, A., Caballero, P. Moran, P. 2008. Impact of precocious male parr on the effective size of a wild population of Atlantic salmon. Freshwater Biology 53: 2375-2384.
- Smith, G. R. and Stearley, R. F. 1989. The classification and scientific names of rainbow and cutthroat trouts. Fisheries 14 : 4-10.
- Toledo, M. M., Lemaire, A. L., Bagliniere, J. L., Braña, F. 1993. Caracteristiques biologiques de la truite de mer (*Salmo trutta* L.) au nord de l'Espagne, dans deux rivieres des Asturies. Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture, 330: 295-306.
- Toledo, M. 1996. Ciclos de vida y estrategias reproductivas de la trucha común (*Salmo trutta* L.). Tesis doctoral, Dpto de Biología de Organismos y Sistemas, Univ.Oviedo.
- Verspoor, E., Stradmeyer, L. Nielsen, J.L. 2007. The Atlantic salmon: genetics, conservation and management, Blackwell, Oxford.
- Webb, P. W. 1988. Simple physical principles and vertebrate aquatic locomotion. Am. Zool. 28: 709-725.



Fotografía 5. Reos con diferente librea según la época del año en la que son controlados, los 2 primeros son reos que controlados en verano recién entrados del mar y los 3 de abajo fueron controlados en otoño tras un tiempo en el río.



Fotografía 6. Salmones adultos con diferente librea, los 3 primeros controlados en primavera (recién entrados del mar) y los 3 de abajo en otoño (tras varios meses en el río).

LLEGADA DE LA GOLONDRINA (*Hirundo rustica* L.) A PONTEVEDRA

Ignacio S. SANTOS

Centro de Investigacións Mariñas de la Consellería de Medio Rural e do Mar. Vilanova de Arousa, Pontevedra. España.

Resumen

La golondrina común (*Hirundo rústica* L.) resulta un interesante indicador de la situación ambiental del área geográfica en que vive pues, como todas las aves migratorias, realiza sus viajes todos los años a los mismos lugares. Sin embargo en la actualidad todavía no sabemos con exactitud la significación que tiene como posible indicador del clima. En este trabajo se presenta un breve estudio sobre la relación existente entre la fecha inicial de llegada a la provincia de Pontevedra y la temperatura ambiental registrada entre esa fecha y el final del verano. La fecha de llegada de las golondrinas ha sido registrada en la parte noroeste de la provincia de Pontevedra durante un período de dieciséis años (1998-2013). La aparición más temprana fue el 11 de febrero y la más tardía el 6 de abril, siendo la fecha más frecuente el 22 de marzo que se repitió tres veces en este período. La fecha de la primera observación de cada año se ha relacionado con la variable temperatura ambiental del verano siguiente, resultando una correlación positiva que indica que la llegada temprana está asociada con veranos calurosos mientras que cuando las golondrinas tardan en llegar, los veranos resultan más fríos. Resulta difícil comprender la variabilidad de la fecha de llegada a Pontevedra debido a que los parámetros y variables ambientales del lugar de partida también pueden resultar determinantes.

Abstract

The common swallow (*Hirundo rustica* L.) is an interesting indicator of the environmental situation of the geographical area where it lives. However still we do not know the exact meaning of this climatic indicator. This paper presents a brief study on the relationship between the date of arrival and the temperature in the province of Pontevedra, Spain. The date of arrival of the swallows in the northwestern part of the province of Pontevedra has been registered for a period of sixteen years (1998-2013). The first occurrence was recorded on February 11 and the last April 6, being the most frequent date March 22 that was repeated three times in this period. The date of the first arrival of each year has been linked with the variable ambient temperature in summer resulting in a positive correlation that indicates that the early arrival of this species is associated with hot summer whereas when they arrive late, summers are generally cold. It is difficult to understand the variation of the date of arrival in Pontevedra since parameters or prevailing environmental variables in the African place of departure can also be decisive.

Introducción

Las características principales de la golondrina común (*Hirundo rústica* L.) son cola ahorquillada, vuelos de persecución y rasantes sobre la superficie del agua, paradas en los cables del tendido eléctrico y nidos en los tejados (fotografías 1, 2 y 3). (Peterson et al., 1995; Saino et al., 2003).



Fotografía 1. “Las aves negras no se matan, su carne es tabú. Son aves sagradas” (Nicholas Wilcox. Los Templarios y la Mesa de Salomón, 2004)



Fotografía 2. “Brasita negra que lustra la oscuridad”. (Las Golondrinas, poema de Dávalos & Falú, cantado por Jorge Cafrune)

A Galicia llegan para criar en la primavera, procedentes de varios países africanos y asiáticos, permaneciendo durante unos nueve meses del año, entre marzo y noviembre. La llegada se realiza simultáneamente en varios lugares que tienen la misma latitud y, después de varios días, llegan a otros lugares de mayor latitud, avanzando su recorrido migratorio hacia el polo norte (Margalef, 1974).



Fotografía 3. “Las golondrinas incuban los huevos en sus nidos durante 14-16 días” (Colin Harrison. Guía de campo de los huevos y polluelos de España y de Europa, 1984)

Los primeros individuos en llegar son machos y en esta especie también se ha reconocido que se dan luchas por el territorio y por la reproducción (Pape, 1985). Las campañas de anillado de estas aves, además de aclarar aspectos interesantes sobre sus lugares exactos de origen y de destino, permiten obtener datos sobre mortalidad y crecimiento poblacional (Oatley, 1996). Las golondrinas son aves muy beneficiosas para la agricultura ya que consumen multitud de insectos. Durante el período de cría se estima que las golondrinas alimentan a sus polluelos en el nido con raciones de pequeños insectos, unas 400 veces al día.

Por otra parte, la temperatura ambiente se ha reconocido como el factor determinante en muchos procesos biológicos como en la eclosión de los huevos de trucha, ya que la maduración se completa cuando transcurre el suficiente número de días y grados de temperatura. Otro caso es el de la eclosión de los huevos de gallina que se realiza exactamente en nuestras latitudes a los veintidós días.

En un mismo territorio la temperatura en la cima de la montaña es más alta que la que se registra en el valle, pero esto no es impedimento en nuestro caso, para detectar en esta especie alguna tendencia de comportamiento relacionada con ese parámetro a escala local, a pesar de que las temperaturas están determinadas a mayor escala por las nubes, los ciclones y otros fenómenos atmosféricos. La temperatura en los valles suele ser siempre menor que la temperatura en la cima, debido a que el aire frío pesa más que el aire caliente y posee un

estado de densidad molecular más elevado. Las moléculas densas que están muy concentradas pesan más y descienden hacia el suelo, al contrario de lo que ocurre con las moléculas ligeras.

Material y Métodos

A lo largo de un período de dieciséis años (1998-2013) se registró el primer día de llegada de la golondrina común dentro del área de la provincia de Pontevedra integrada por los municipios de Barro y de Vilanova de Arousa (figura 1).



Figura 1. El área de observación se localiza por debajo de la línea sincrónica del 15 de marzo (según H.N.Southern, en Margalef. Ecología, 1974).

Los datos de la temperatura ambiente de la estación meteorológica de Monte Castrove en el municipio de Poio (Pontevedra) fueron adquiridos del Servicio de Meteogalicia a través de su página web.

En primer lugar, se consideraron las temperaturas diarias del ambiente previas a la fecha de llegada, es decir, entre el día 1º de enero y el primer día de observación, obteniendo el promedio de cada año. En segundo lugar, se consideraron las temperaturas diarias del ambiente entre la fecha inicial de llegada y el final del verano, el día 21 de septiembre, obteniendo también el promedio de cada año. En ambos casos se trató de establecer el grado de asociación entre variables por medio de la correlación existente. La realización de las gráficas se hizo con el programa Excel de Windows.

Resultados

El método de observación de aves se basa en realizar recuentos frecuentes con adecuados aparatos de visión como prismáticos y cámaras de fotografía. Sin embargo cuando se trata de especies de especial significación como las migratorias, las observaciones realizadas, aunque sean pocas y tengan un valor local, resultan bastante esclarecedoras. La golondrina común resulta un indicador de la situación ambiental aunque no sepamos todavía con exactitud la significación y el valor que tiene lo que está indicando.

La fecha de llegada de la golondrina a la provincia de Pontevedra osciló entre los 40 y los 95 días contados a partir del 1° de enero (figura 2). La fecha más frecuente fue el 22 de marzo que en este período se repitió en los años 1998, 2007 y 2010. No se observó ninguna distribución regular, destacando el valor muy bajo de 2005.

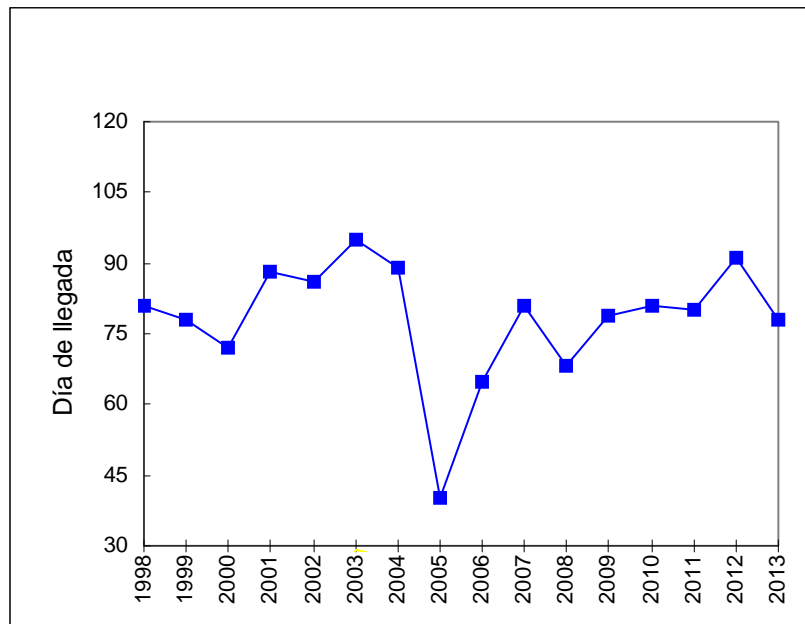


Figura 2. Variación interanual de la llegada de la golondrina a Pontevedra durante el período 1998-2013

La fecha de llegada no tiene relación con la temperatura media registrada entre esa fecha y el día 1° de enero de acuerdo con el análisis de regresión realizado, que en un período de once años (figura 3) mostró un grado de correlación muy bajo ($R^2=0,16$).

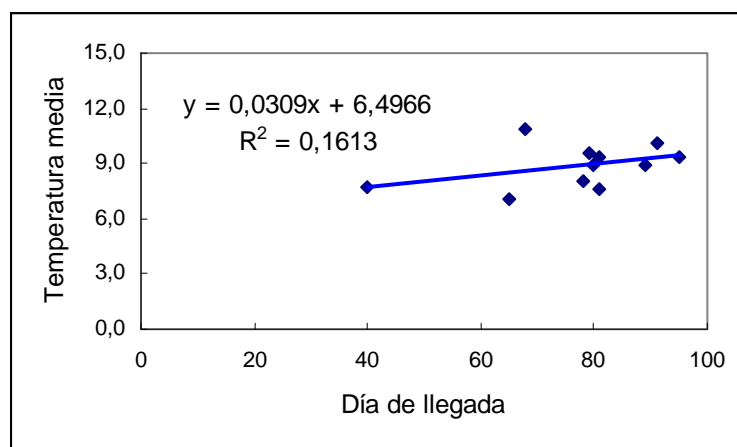


Figura 3. Relación entre la fecha de llegada de la golondrina a Pontevedra y la temperatura del ambiente en los días previos (2003-2013)

Por otra parte, la fecha de llegada guarda mayor grado de asociación con la temperatura registrada entre esa fecha y el final del verano, el 21 de septiembre, a lo largo de un período de diez años (figura 4). En este caso, la correlación aunque no resulta muy determinante, permite asociar mejor la fecha de llegada con el tiempo atmosférico del verano siguiente ($R^2=0,67$). Las llegadas tempranas concuerdan con un tiempo frío mientras que cuando las golondrinas tardan en llegar, el tiempo resulta más apacible. Sin embargo hay que tener en cuenta que la fecha de llegada también debe estar influida por el tiempo atmosférico del lugar de partida. Con respecto a la influencia del clima sobre el comportamiento de estas aves, resulta clara su relación con la alimentación, tal como se comprobó en los estudios realizados en África, resultando que cuando hay sequía, los pesos alcanzados son menores que cuando las lluvias son abundantes y provocan la proliferación de insectos. Por ello es factible esperar cuando haya sequía en el país africano de origen, la llegada a nuestras latitudes se retrase hasta que los individuos alcancen el grado de condición suficiente, mientras que cuando las lluvias son abundantes la llegada se adelanta.

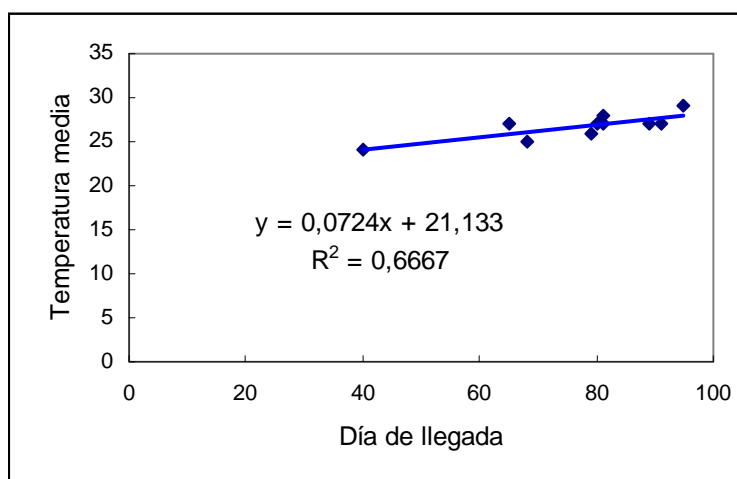


Figura 4. Relación entre la fecha de llegada de la golondrina a Pontevedra y la temperatura del ambiente en el verano (2003-2012)

Discusión y conclusiones

La llegada temprana de las golondrinas a Pontevedra se corresponde con veranos moderados, mientras que la tardanza de estas aves en llegar está relacionada con veranos más calurosos. Con temperaturas más elevadas en el verano es lógico también considerar que las golondrinas ingerirán más insectos y disminuirá el riesgo de plagas.

El análisis de regresión realizado se tiene que considerar con un valor más informativo que predictivo debido a la escasez de los datos y a la ausencia de validación. A pesar de ello, se deberían promover más investigaciones de esta clase y en particular, sobre la recogida de datos fenológicos de las aves migratorias y su importancia para Galicia.

Referencias

- Margalef, R. 1974. Ecología. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España.
- Oatley T.B. 1996. Bird ringing in Southern Africa. Euring Newsletter. Volume 1. Thetford, Norfolk, United Kingdom.
- Pape, A. 1985. Mixed reproductive strategy and mate guarding in a semi-colonial passerine, the swallow *Hirundo rustica*. Behavioural Ecology and Socio-biology 17: 401-408.
- Peterson, R.T., Montfort, G., Hollom, P.A.D. 1995. Guía de campo de las aves de España y de Europa. Editorial Omega, Barcelona, España.
- Saino, N., Romano, M., Sacchi, R., Ninni, P., Galeotti, P., Pape, A. 2003. Do male barn swallows (*Hirundo rustica*) experience trade-off between the expressions of multiple sexual signals? Behavioural Ecology and Socio-biology 54: 465-471.

OBSERVATIONS OF THE GD358 NON RADIAL PULSATING WHITE DWARF WITH THE MOLÉTAI ASTRONOMICAL OBSERVATORY 1.65 m TELESCOPE FOR THE WHOLE EARTH TELESCOPE (WET). INTERNSHIP REPORT

Carlos VISCASILLAS

Molėtai Astronomical Observatory (MAO). Molėtai. Lithuania

Abstract

This article is a work report about astronomical observations during my work experience and research internship (traineeship for professional careers) at Molėtai Astronomical Observatory (MAO) under the *Lifelong Learning Programme (LLP)* of the European Commission. This work could be useful for future interns, and for astrophysics, master, PhD or Nordic-Baltic Research School students with no previous experience in professional observations or those who want to learn more about astronomical instruments at MAO. This paper pays special emphasis on the instruments and the engineering used to conduct astronomical observations.

Resumen

El "Whole Earth Telescope" (WET) es un proyecto de colaboración internacional que incluye más de 25 telescopios de todo el mundo. Varias veces al año, durante varias semanas, estos telescopios observan conjuntamente una misma estrella, como si se tratase de un solo telescopio. El Observatorio Astronómico de Moletai (Lituania) participa desde hace más de 20 años en este proyecto. Este trabajo es una memoria de las observaciones realizadas desde Lituania durante la campaña del mes de mayo de la estrella pulsante GD358, bajo la dirección del astrónomo Dr. R. Janulis. Las observaciones se realizaron con un instrumento de gran calidad, el telescopio reflector Ritchey-Chretien de 1,65 m (diámetro del espejo), el más grande de todo el norte de Europa. Los resultados del conjunto de los observatorios se analizarán en la Universidad de Delaware (USA). Este trabajo también presta especial atención en el instrumental utilizado para llevar a cabo las observaciones.

Introduction

Goal

This report is part of the programmed coordinated observations by the world-wide network of cooperating astronomical observatories to obtain uninterrupted time-series measurements of variable stars. Lithuanian astronomers belong to this programe since 1993 (Vilnius WET group). As part of my internship at the observatory under the *Lifelong Learning Programme (LLP)* of the European Commission, I had the great opportunity to participate directly in the real observations with an experimeted and prestigious astronomer. The observations for Moletai Observatory were scheduled from May 6th-to May 25th, 2013 (XCOV29). We got observations 8 nights of the 20 scheduled (40%). For observations are used different engineering instruments interconnected themselves: optical, mechanical, electromechanical, electronic and computer (engineering system). This internships report pays special attention to the instruments used for the observations and also tries to summarize what I understood during the daily work and provide an overview about this work experience.

Our target

White Dwarf: GD 358. ZZ Ceti type variable star. Coordinates: (1647 19.02, 322831.90, 2000,00). Aparent: 16:47:51.16 +32:27:5.18. Pulsating non-radial variable star. Magnitude: 13. The internet is used as an important instrument of communication with astronomers during the WET campaigns. GD358 is observed in the WET program from the year 1990 to the present, in successive campaigns (table 1).

Table 1. GD358 WET campaigns.

Date	Coordinator
May 1990	Don Winget
May 1994	Edward Nather, Bradley M. Peterson
May 2000	Kepler Oliveira, A. Nitta
May 2006	Judi Provencal
May 2010	Judi Provencal
May 2011	Judi Provencal
May 2012	Judi Provencal
May 2013	Judi Provencal

Table 2. Observations of GD358 from MAO.

Campaing	MAO observing schedule	Successful observations
23 / 5 - 9 / 6 / 2000	23 / 5 - 5 / 6 / 2000	May 23, 24, 26 (66.6%)
15 / 5 - 10 / 6 / 2006	15-31 / 5 / 2006	May 15, 17 (11.8%)
10 - 30 / 5 / 2010	13-24 / 5 / 2010	May 13*, 16, 18, 20, 21 (41.6 %)
26 / 4 - 12 / 6 / 2011	26 / 4 - 10 / 5 / 2011	May 26, 27, 30; June 1, 2, 5, 9*, 10 (53.3%)
15 / 4 - 16 / 5 / 2012	-	-
May-June 2013	6 - 26 / 5 / 2013	May 6, 7, 8, 14, 15, 17, 18, 24

(*) Were observed different stars, as primary, secondary, tertiary or fourth target: PG1325+101 and KIC 10139564.

Observations of GD358 are made every year in May with observatories around the world. Belong to this program 28 observatories, most in the United States (7) and in Spain (4). In USA, 3 belong to Arizona and 2 are in Texas (WET is connected from its beginning to the University of Texas Astronomy Department). The Institute of Theoretical Physics and Astronomy of Lithuania keep also strong relationships with researchers from Arizona observatories. In 1986 was the first photometry in the Vilnius System at the Kitt Peak Observatory (Arizona), which also belongs to WET.

Spain contributes to WET with the "Teide Observatory" and "El Roque de los Muchachos Observatory" of the Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC); Nordic Optical Telescope (NOT), all of them at the Canary Islands, and the "Calar Alto Observatory". Observatories in Chile, Australia, China, South Africa, Brazil, India, Thailand and Europe also participate in this project, with the goal of making successive observations at different times and from different positions. Delaware Asteroseismic Research Center (DARC), supported by Mt. Cuba Observatory and the University of Delaware, sponsored in 2006 observations of GD358, with the goal of constraining the convection parameters of the helium convection zone in

GD358. Moletai Observatory participated in this campaign with observations in May 15 and 17, 2006 (table 2). August 15, 2005 also were made GD358 observations from the Teide Observatory in Spain, under the Nordic-Baltic Research School hosted in Moletai (Lithuania).

From 2010 the observations were made with the "Apogee" CCD camera. Previous observations were made with the camera "Vers Array" of Princeton Instruments, bought in 2002. Under the same program -WET-, a few years ago has resulted the discovery of a new planet — Peg V392b — the oldest planet known so far in the universe -10-bln-year-old star- (after seven years investigating the pulses of the star V391). The observations were held all over the World (by a team of 23 astronomers), and the Lithuanian astronomer R. Janulis participated in this important discovery, observing from Molėtai astronomical observatory. The results were published in the international journal of science "Nature", and provides important information about what will happen to the solar system in 5 bln years (*Nature* 449, 2007, "A giant planet orbiting the 'extreme horizontal branch' star V 391 Pegasi"). The WET program uses only one meter larger telescopes, and study weak stars (usually of magnitudes: 12-14), and very often white dwarfs. Lithuanian astronomers joined the program in 1992, and after a year Moletai Astronomical Observatory participated in the second WET scientific conference (the first was held in 1991 in Austin, in the U.S.). The Lithuanian astronomers E. Meistas, R. Janulis, R. Kalytis and E. Pakstiene have participated in this program from Moletai and Maidanake observatories. The scientific journal "Baltic Astronomy" regularly publishes scientific works from WET.

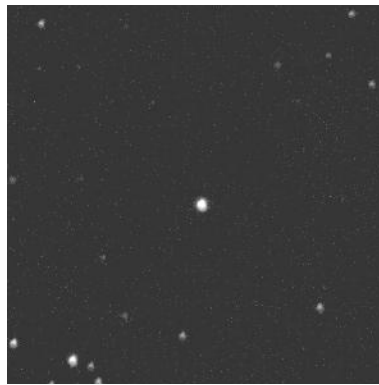


Figure 1. CCD field subframe from the 1.65 m telescope with GD358 (in the center). Night of May 17.

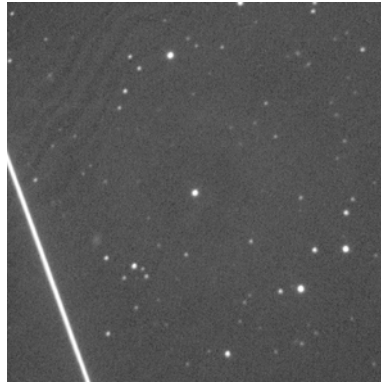


Figure 2. CCD field (6' x 6') from the 1.65 m telescope with GD358 in the center and meteor captured the night of May 17.



Figure 3. a, b, c. Interesting frame sequence of GD358 (in the center) where is a very slow object (probably an artificial satellite) that was about 1 minute in our field. Exposure time of each frame (17,50 s.). Night of May 17.

The observatory

Geographical coordinates of the observatory: Longitude: 25° 33' 48.0" E; Latitude: 55° 18' 57.5" N. (UTC+2). It consists of several buildings: the main building (Figure 4), designed by the architects B. Podolskis and A. Strazdas, where are the offices, library, meeting rooms and conference rooms, plus 8 rooms for astronomers and homes of the manager and the Prof. Straizys; the buildings of telescopes (Figure 6), the largest is 6 floors high. The observatory had optical, electronic and photography laboratories. 4 working rooms, game room, sauna and indoor pool. Also has a ski slope with chairlift for winter and beautiful lakes for summer a few feet away from the observatory (the closest are Zelvoss, Giluzis and Lenktinis, and a beautiful lake in the middle of the forest with crystal clear water named Baltis). The library has over 3,000 books and journals of astronomy, and regularly hosts major periodicals magazines of astronomy. Observatory history dates back to ancient Astronomical Observatory of Vilnius University opened in s. XVIII. The current observatory was built in Soviet times in the middle of a large forest named "Povilas Forest", to favor the conditions of observation and research. It is built on the "Kaldiniai" hill near a small village called Kulionys in a picturesque place surrounded by beautiful forests and lakes where go for a walk.

The observatory is located in one of the highest hills of Lithuania. In 1969 they assembled the first telescope of 25 cm diameter. After that brought Maksutov 35/51 cm, and already in 1974 and 1991 reflecting telescopes of 63 cm and 165 cm diameter primary mirror. The 165 cm is the largest in northern Europe and its mirror was built in 1976-1978 in the factory Lytkarino optics (Russia). The secondary Cassegrain quartz mirror was completed in 1982. They have

also a three-channel high Speed CCD photometer (Figure 7), and Coravel type radial velocity spectrometer. The reflector telescope's primary mirror of 63 cm was purchased in 1938 in Kaunas under the direction of Prof Bernard Kodatis. The Maksutov telescope of 35/51 cm substituted the first telescope of 25 cm in 1975. Furthermore Lithuania had another observatory on Mount Maidanako, in Uzbekistan, with several telescopes (one 1-meter diameter primary mirror). The Moletai observatory is located in a prime location, in the natural park of Labanoro, which is the largest regional park in Lithuania. The observatory area is currently about 14 hectares. Most of the area is covered by forests (80 percent), and has numerous lakes-nearly 300 - and streams, which occupy the rest of the surface.

The existence of numerous lakes guarantee the absence of future light pollution. In the area there are numerous protected species, and the Lakajai is one of the most beautiful and exotic rivers of Lithuania, frequented by numerous waterfowl. Ecosystem is completed wetlands, swamps and marshes, as well as numerous calcareous fens. There are also numerous animals such as deer, wolves, and elk. Life in the observatory is peaceful and pleasant, in touch with nature. The observatory has a special atmosphere that invites the study, silence and contemplation. There are about 10 permanent workers for the administration and maintenance of the observatory (driver, electrician, cleaners, guides, administrative, and general maintenance). Besides astronomers, also stay at the observatory engineers, architects, and doctoral or practices students, nationals and foreign. The Nordic-Baltic Research School in Astrophysics is frequently hosts at the Moletai Astronomical Observatory (since 1999). The school is organized by the Nordic Academy for Advanced Study (NorFA). Students from different northern European countries participate in this school and it is frequently used by remote control the Nordic Optical Telescope located on La Palma (Canary Islands, Spain). In this school of astronomy are involved prestigious European astronomers. The observatory flag (Figure 8) is based on an ellipse with a crescent, the sun and stars on a blue background.



Figure 4. a, b. Main building and sign warning of entry into the territory of the observatory (is indicated turn off the high beams of cars).



Figure 5. Sundial on the south facade of the main building.



Figure 6. 63 cm and 165 cm telescopes buildings.



Figure 7. Three-channel high Speed CCD photometer.

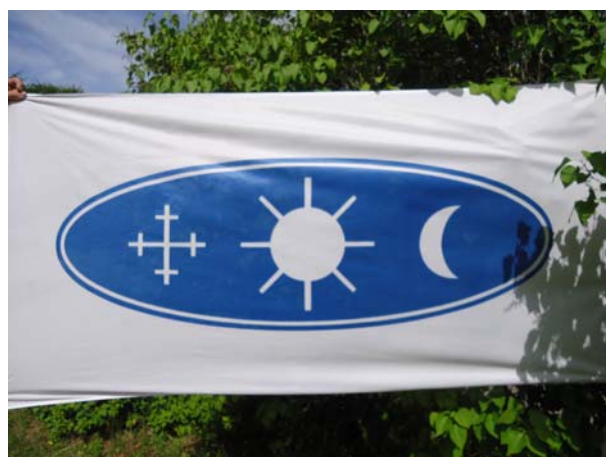


Figure 8. Observatory flag.

Lithuanian astronomers

Lithuanian astronomers are involved in a number of international projects, including CCD photometry of stars in star clusters and galactic, surface photometry of galaxies and population studies, photometry of variable stars and white dwarfs swing, as well as the development new methods for the photometric determination of temperatures, luminosities, metallicities and peculiarities of the stars. Together with U.S. and Danish astronomers and engineers have developed the Stromvil system, a new version of Vilnius system. Lithuanian astronomers discovered and investigated over than 170 asteroids -two of them potentially dangerous to Earth (Atones and Amores groups)-, comets and other planetary objects. 28 asteroids are named like Lithuanian cities, villages or Lithuanian surnames of those who discovered (three of them were discovered from Krymo Observatory in Ukraine). Moreover, the Lithuanian astronomer Kazimieras Černis discovered independently about 40 comets, 26 of them for the first time, and several of them are named like him. Major comets were discovered in the eighties by direct visual observation from the telescope. Last year he discovered several interesting small Solar System bodies (SSSB), including the minor planet-trans-Neptunian object (TNO) 2012 BX85, with a size of about 400 kms. Also several craters on the Moon and Mars take Lithuanian names (eg. Počobutas).

There are about 50 Lithuanians doctors in astronomy, and Lithuania already has a great tradition in this field. An asteroid is named Molėtai (the 124192), like the observatory. Besides of this, the Lithuanian astronomer Vytautas Straižys was the President of the Commission 45 -Stellar Classification- of the International Astronomical Union (IAU), and almost half of the doctoral theses were led by him. He and his collaborators created and developed the Vilnius photometric system - a seven color intermediate band system, optimized for photometric stellar classification. Since 1995 Lithuanian astronomers are involved in the GAIA project, a mission to chart a three-dimensional map of our Galaxy, in the process revealing the composition, formation and evolution of the Galaxy. "Gaia" will produce a stereoscopic and kinematic census of about one billion stars in our Galaxy.

The Vilnius system was proposed for photometric classification in 1995. In addition, Lithuanian astronomers are in close contacts with other colleagues from many foreign institutions: Institute of Theoretical Astrophysics, Oslo, Norway; Institute for Space

Observations, Shenectady, New York, U.S.A.; Vatican Observatory Research Group, Steward Observatory, Tucson Arizona, U.S.A.; Uppsala Astronomical Observatory, Uppsala, Sweden; Geneva Observatory, Sauverny, Switzerland; Padova Observatory, Padova, Italy, are some examples. Astronomical Observatories have research programmes in the following areas: Positional astrometry of unusual asteroids and comets; Star formation and dust clouds in the Orion and Perseus arms of the Galaxy; Characteristics of atmospheric chemical composition and asteroseismic activity of stars and chemical evolution of galaxies; and some recent international projects include: "Computational Atomic Structure with Applications to Astronomy and Plasma Physics" (2011-2013). Participants: Sweden, Lithuania and Poland; "Establishing and development of atomic data base for astrophysical, technological and laboratory plasma modeling".

The Lithuanian astronomers edited several scientific and astronomy journals: The magazine "Baltic Astronomy" is an international journal founded in 1992, published quarterly (4 issues per year) by the Institute of Theoretical Physics and Astronomy of Vilnius University (Lithuania) and the Lithuanian Astronomical Union. It is edited by V. Straizys and the editorial board consists of astronomers from the following institutions: Institute for Space Observations, Shenectady, New York, U.S.A.; Institute of Astronomy, University of Latvia, Riga, Latvia; Vatican Observatory Research Group, Steward Observatory, Tucson, Arizona, U.S.A.; Lund University, Lund, Sweden; Tartu Observatory, Toravere, Estonia; Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, U.S.A. and the Institute of Theoretical Astrophysics, Oslo, Norway. The journal publishes original papers, catalogs, reviews and conference proceedings on all branches of astronomy and astrophysics. The other journal is the annual popular science edition "Lietuvos dangus", published since 1989 and sponsored by Ministry of Education and Science of the Republic of Lithuania.

Material and Methods

Preparations and target

On Friday, May 2 at 14:00 we started to clean the 165 cm telescope instrument and synchronize the controller of camera with the GPS to have everything ready to begin work on Tuesday. We use the internet time; so we didn't need an internal inner timer (*esp. temporizador interno*). For astronomical observations exact time is very important, and a few years ago the inner timer could be synchronized with a precise time source. GPS Garmin is used now for time synchronization for the data acquisition process.

On Tuesday, May 6 in the morning we replaced the Coravel-type radial velocity spectrometer and SBIG autoguiding system from the last observer and we installed the Apogee CCD camera. We observe the presence of some insects inside, so we had to clean it. In the afternoon we were waiting for the instructions from the headquarters in Delaware (United States) about the object to be observed for this campaign. Before sunset we receive instructions. At first we had two targets possibilities: WDJ 1518 and GD 358. Finally we had to observe GD358. A systematic study is required for detecting pulsation. GD358 was observed by specialists in white dwarf Asteroseismology like Gilles Fontaine (1980) and Sylvie Vauclair (1981).

May 17. During the day we went to the main telescope building to take some photographs of the instruments and mechanisms of the telescope, in order to make a diagnosis and if necessary, replace and renew some of them in the future. We place the telescope at low

declination to open and observe the primary mirror. We were on the control cabin to get the height needed to open the electrical components of the secondary mirror and focus. Also we saw the dome mechanisms. We propose to clean the primary mirror, but soon started to rain, so we plan to clean the primary mirror in June. The special location of the observatory in the middle of a great forest, where abound trees as the Scots Pine (*Pinus sylvestris*) cause the dirty mirror each spring.

May 23. Taking advantage that nights were cloudy and we could sleep at night, we decided to clean the telescope during the day with workers from observatory.

May 26. Scientists and engineers from Yale University visit Moletai Astronomical Observatory (MAO) for the design of the new spectrometer.

Evolution of sunrise and sunset during the days of observation. May 6, sunset (ocaso) at 21:11 and sunrise (orto) at 5:32. May 26, sunset at 21:46 and sunrise at 4:57. The 25th was the full moon, which came at 22:08. Until about two hours after sunset and two hours before sunrise the sky was clear, reducing observation conditions at about 4 hours, especially in the last days.

Instrumental used for observations

All MAO scientific equipment is ready to be controlled automatically through the computer system. This section is a description of the mechanisms, instruments and electronic devices interconnected themselves, and necessary for the success of the observations. Telescope, dome, shutter, filter wheel, CCD camera, stepper motors, encoders, GPS, drivers, controllers, interfaces, as well as informatic software and their interconnections are some example. An optimal coordination and perfect synchronization between them selves is required for the proper functioning of the system.

Telescope: The 165 cm Ritchey-Chretien reflector telescope (RCT), build in 1985 and installed at Moletai Observatory in 1991 (Figure 9). Has a hyperbolic primary mirror and a hyperbolic secondary mirror designed to eliminate optical errors (coma). Its mirror was built in the "Lytkarino Optical Glass Factory" (Moscow region, Russia) in 1976. It is the largest telescope in Northern Europe. Mirror is made of a ceramic material with low thermal coefficient. Originally was manufactured from a fragment of a bigger one. Specifications (table 3): Focal ratio: $f/12$; diameter of secondary mirror: 0.45 m; this scale is so little to use for CCD imagin. We need a focal reducer to decrease the scale. The focus of the image produced by the telescope in the focal plane is obtained moving the secondary mirror along the optical axis (with a JVL motor). For our job on this project, we worked without filters. The primary mirror is protected by automatic opening covers. Maintenance: Last aluminized in Odessa (Ucrania). 60 nanometer thick aluminum film covering the surface of mirror, repeated every 2-3 years. Taking advantage of my internship at Molétai Astronomical Observatory (MAO), we have considered the possibility of next aluminized at Calar Alto Observatory (Spain), as a possible alternative. at Molétai Astronomical Observatory (MAO) has a specially designed cleaning table for the mirror of 165 cm (Figure 12). The design of the telescope has also crank mechanism for balancing. In the design, construction and manufacture of the telescope, dome and mirrors participated engineers from Moscow, Leningrad, Vilnius, and Klaipeda. The work was coordinated by the engineers Z. Pincevicius and the last phase of assembly (1990-91) by K. Zdanavicius.

Table 3. Technical Specifications 1.65 m telescope

Technical Specification	Value
Diameter of the primary mirror	165 cm
Focal length of the primary mirror	492 cm
Focal ratio of the primary mirror	1:3
Thickness of the primary mirror at the edge	22 cm
Diameter of the central hole	30 cm
Diameter of the secondary mirror	45 cm
Equivalent focal length of the system	1968 cm
Focal ratio of the Ritchey-Chretien system	1:12
Field diameter of Richey - Chrétien	20 cm = 35'
Field diameter	30 mm
Focus offset from the surface of the primary mirror	72 cm
Image scale	1 cm = 1,75'
Focal reducer from	from 1/12 to 1/4
Scale	1 cm = 5.25'

Mechanics of the 1.65 m telescope. Mount Equatorial Cross-axis. Description: The right ascension axis is supported at both ends, and the declination axis is attached to it at approximately mid point with the telescope on one end of the declination axis and a counter weight on the other. As the telescope is mounted on one side of the declination axis, it requires a counterweight. The strains on the axes vary according to where to point the telescope. There are cranks to move and adjust the counterweights. The advantage of this design is high stability.



Figure 9. General view of the telescope.

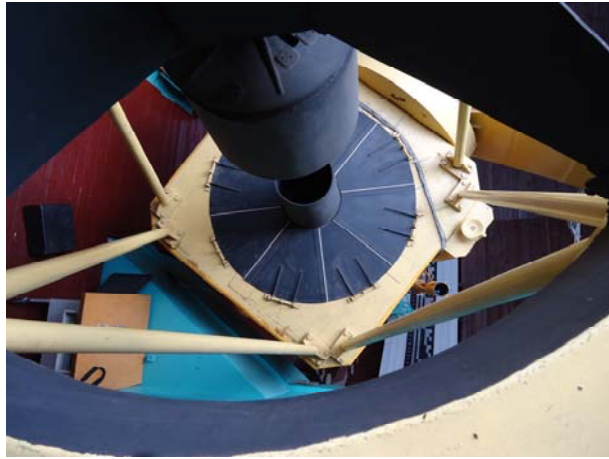


Figure 10. Detail of the telescope, seen from the secondary mirror.



Figure 11. Details of the components of the secondary mirror and focus.



Fig. 12. Cleaning table for the mirror of 1.65 m.

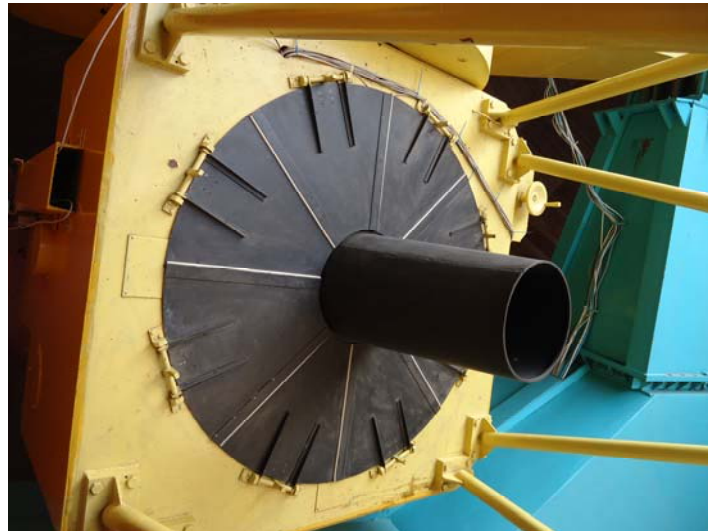


Figure 13. Detail of opening doors -protective covers of the primary mirror.

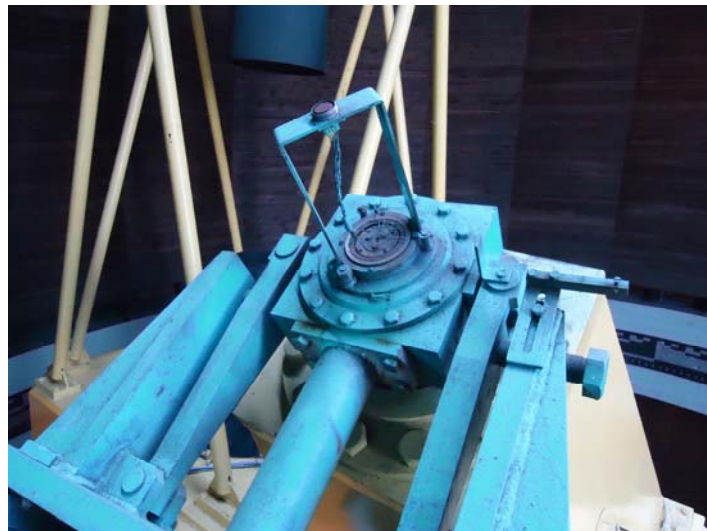


Figure 14. Detail of right ascension axis mechanism and resolver. 19-poles M-23 female connector (top).

High Torque Stepper Motor: The telescope is moved by a stepper motor, an electromechanical device that converts electrical pulses in angular displacements (divides a full rotation into a number of equal steps). Step motor and controller at MAO are produced by "JVL Industri Elektronik A/S", company from Denmark. Type No MST341802. Current par/sec 6.5 / 3.3 A; Torque Hold/run 6.1 / 5.0 Nm; Steps per rev: 200. Size: 87 mm. There are stepper motors for the right ascension and others for declination (Figure 16), and another JVL motor to focus the secondary mirror. We commented the possibility of change the stepper motors by servomotors, analyzing the advantages and disadvantages of both.

Stepper Motor Driver (esp. controlador): Ministeps per full-step: 1 / 2 / 4 / 8. Motor Current (per phase): 6 Amp./RMS. Motor Step Resolution: JVL Drivers operate using the Bipolar Chopper principle and have a 2-phase motor output. The Drivers are used both with 2-phase and 4-phase motors, the latter being connected with the phases in parallel so they appear as a 2-phase motor to the Driver. In Full-Step operation, step motors typically provide a resolution

of 200 steps per revolution, i.e. each step is 1.8 degrees (360 degrees/ revolution). By operating the motor in Half-Step mode, 400 steps/revolution can be achieved (0.9 degrees/step). Even greater resolution can be achieved by further subdivision into 1/4, 1/8 steps etc.



Figure 15. Mechanics and Stepper Motor produced by "JVL Industri Elektronik A/S" (RA).

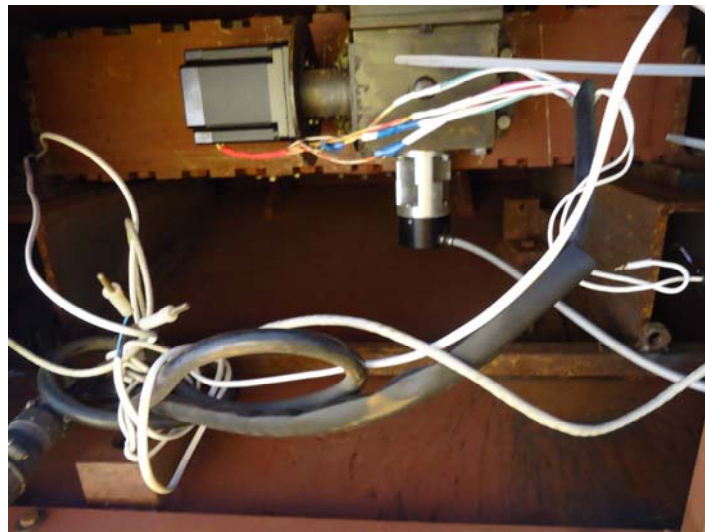


Figure 16. Stepper Motor produced by "JVL Industri Elektronik A/S" and other devices (DE).

Stepper Motor Controller: SMC 35. Stepper motor controller with micro PLC. SMC35 is the most advanced step motor controller from JVL, with built-in micro-PLC and 11 inputs and 8 outputs. The Controller offers high torque, high velocity and high resolution. Compact step motor controller up to 6A RMS (8.5A peak). Indexer and driver in one single unit. 1½-axis controller for controlling 2 motors from the same program. Special modes for applications involving dispensing/labelling. Extremely fast start/stop reaction times. Programmed via the well-known Windows MotoWare software. Can be used with all 2 or 4 phase step motors with 15 - 7.5 - 3.6 - 1.8 - 0.9 degrees per step.



Figure 17. The control panel. From top to bottom: power supply; JVL driver SMC 35 SMD41B3 (green color); GPS Garmin 35 LP.

CCD Camera: Apogee Alta U47. Technical Specifications: CCD: E2V CCD47-10; Array Size (pixels): 1024 x 1024; Pixel Size: 13 x 13 microns; Imagin Area: 13.3 x 13.3 mm (177 mm²); Imagin diagonal: 18.8 mm. PC Interface: USB 2.0; Digital resolution: 16 bits at 700 kHz and 12 bits at 2 MHz; System noise: 9 e RMS at 700 kHz and 2 counts at 2 MHz; Exposure time: 30 miliseconds to 183 min (2.56 microseconds increments). Image sequencing: 1 to 65535 image under software control; Frame sizes: full frame, subframe, focus mode; Cooling: Thermoelectric cooler with forced air. Maximum cooler: 50-55°C below ambient temperature (D02 housing). Dark current (typical): 0.2 e/pixel/sec (-20 °C). 0.02 eps for High cooling D09 housing; Temperature Stability: +/- 0.1°C; Operating enviroment: -22°C to 27°C. Relative humidity: 10 to 90%. Cable lenght: Standard 4.5 m; Power: 40 W maximum power with shutter open and cooling maximum. AC/DC "brick" supply with int'l AC input plug (100-240 V, 50-60 Hz). Alternate 12 V input from user's source. Shutter: Melles Griot 43 mm. Coller based in Peltier elements (no liquid nitrogen). The electronic system allows the camera do automatic cooling control, the shutter, downloading images, etc.

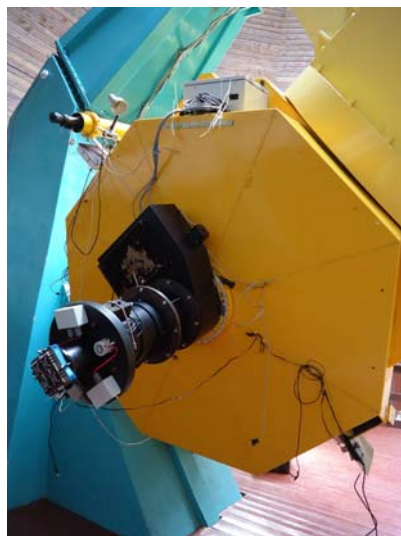


Figure 18. Detail of the telescope: from bottom to top, Apogee CCD Camera, focal reducer, filter wheel, focal reducer, autogiding system and derotator.

Melles Griot Electronic Shutter: Shutter is a device that allows light to pass for a determined period of time, for the purpose of exposing a light-sensitive electronic sensor to light to capture an image. Specifications: Input voltage: 12 Vdc. Input current: 2.5 A maximum. Output voltage: 48 Vdc pulse / 6 Vdc hold. TTL: +3 TO 7 Vdc, 15 mA (opto-isolated, floating ground). Input via standard BNC jack. Maximum repetition: 2 Hz. Minimum recharge time: 200 msec (from de-energized to next actuation). Weight: 13 oz (370 g). The rotary switch provides the following shutter opening times: 2, 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/15, 1/30 and 1/60 seconds. The rotary switch includes 4 additional settings. Shutter can be energized for a brief (<1/60 second) uncalibrated time, up to 1 second, 1-30 seconds. TTL remote operation. A TTL pulse energizes the shutter. The rotary switch can be set to TTL or to a timed setting. B/T switch: B to energize the shutter as long as the switch is held. T to energize the shutter continuously until the switch is reset to its normal (middle) position. These functions are useful for shutter set up and test.



Figure 19. Electronic Shutter Melles Griot 43 mm.



Figure 20. GPS "Garmin" antenna.

GPS "Garmin" 35LP: Technical Specifications: Operation temperature: -30°C to +85 °C (internal temperature). Storage temperature: -40 °C to +90 °C. Input voltage: +3.6VDC to 6.0VDC regulated, 150 mV ripple -LVx versions. +6.0VDC to 40VDC unregulated -HVx version. Input current: 120 mA typical 140 mA max. Backup power: 3V threshold. Rechargeable Lithium cell battery, up to 6 month charge. Power down input: 2,7 V. GPS 35LP track up to 12 satellites at a time while providing fast-to-first-fix one second navigation updates and low power consumption. Interfaces: There are two bi-directional data ports which are true RS-232 ports. Inputs: Initial position, date and time; earth datum and differential mode configuration command, PPS Enable, almanac. Outputs: position, velocity and time; receiver and satellite status; differential reference station ID and RTCM data age; geometry and error estimates. GPS "Garmin" Antenna (Figure 20): It is located on the top floor. The data collected by this antenna determine the start and end time of night observation, and also could be useful for programming different observations.

Connections: RS-232 connection between DTE (data terminal equipment) and DCE (Data Communication Equipment). Many modern personal computers have no RS-232 ports and must use an external USB-to-RS-232 converter to connect to RS-232 peripherals. Some synchronous devices provide a clock signal to synchronize data transmission, especially at higher data rates. Universal Serial Bus (USB) that defines the cables, connectors and communications protocols used in a bus for connection, communication and power supply between computers and electronic devices at the observatory. USB 2.0 Ranger 440. With this extender we can break the 5 meter distance barrier for the connection of USB peripheral devices, which can be located up to 50 meters from the host computer. It is composed of two individual units; the LEX unit and the REX unit. The ranger 440 REX unit (Figure 21) integrates a USB Hub and provides 4 USB device connections the remote end. Connection to the USB device is via a conventional USB cable. The REX unit is required to be connected to a power outlet through an AC power adapter. The LEX unit and REX unit can be interconnected by up to 50 meters of Category 5 Unshielded Twisted Pair (UTP) cabling. The UTP cabling must have a straight-through conductor configuration, with no crossovers, and must be terminated with 8-conductor RJ45 connectors at both ends.

Protocols: TCP/IP, Transmission Control Protocol (TCP) and the Internet Protocol (IP). The Internet protocol suite is the networking model and a set of communications protocols used for the Internet and similar networks. TCP/IP provides end-to-end connectivity specifying how data should be formatted, addressed, transmitted, routed and received at the destination.

PC: connected to the electronics of the telescope and controlling their movements (RA and DEC axes, focusing mechanism), the filter wheel and the dome (azimuth and gate).



Figure 21. USB 2.0 Ranger 440 REX unit



Figure 22. Telescope control room (TCR) of 1.65 m (4 floor), from where we can control all the instruments.

Software: The basic functions to be provided by a monitoring software to ensure robotic or remote control are: control of scientific and support instrumentation, control of astronomical observations, treatment and management of collected data; communication with internal and external users, and alarm and security management of the observatory. One of the utilities of the software is the graphical interface that allows real-time control of the telescope, the dome, the filter wheel, and the GPS signal. We work with Linux operating system, better to use with astronomy programs. To control the movements of telescope we used the Graphical User Interface (GUI) of "The Telescope", designed by R. Janulis. "Aperture photometry" and "Apogee" for CCD camera are other programs designed by Dr. Janulis. Although we didn't use XEPHEM Sky map, the instructor recommended it very much. XEPHEM ephemeris and planetarium program for Unix-like operating systems is developed by Elwood C. Downey. The main computer is located in the control room, but the telescope can be controlled from a remote computer. For the data analysis astronomers use the software "Image Reduction and Analysis Facility" (IRAF).

Autoguiding: We used a technique known as auto-guiding system. The telescope was designed on a "Santa Barbara Instrument Group" (SBIG) CCD camera autoguider, which is placed in free space of focal plane of the telescope. With a second CCD chip is possible to monitor deviations during imaging. This chip could rapidly detect errors in tracking and command the mount motors to correct for them. The (SBIG) autoguider is attached to either a guidescope, a telescope oriented in the same direction as the main telescope. The device has a CCD sensor that regularly makes short exposures of an area of sky near the object. After each image is captured, its computer measures the apparent motion of one or more stars within and issues the appropriate corrections to the telescope's (computerized) mount. An autoguider does not need to be an independent unit; astronomical video cameras or webcams can serve as CCDs and programs such as Guidedog, or general-purpose astronomical software. We replace the autoguider of the previous observer for our autoguider system.



Figure 23. Star Tracker/Imaging camera. "Santa Barbara Instrument Group" (SBIG) CCD camera autoguider



Figure 24. Gray code of the dome.



Figure 25. Magnetic detector designed by R. Janulis for the dome synchronization (Foto: R. Janulis).



Figure 26. Derotator (scale in degrees).

Dome: The main tower has a dome 12 meters in diameter made in Klaipeda, which has motors for movement in azimuth and opening the gates. The dome was provided from his initial design with a rotary optical encoder with Gray code, to convert the angular position to an analog or digital code. This electro-mechanical device presented reflectivity problems from the beginning, and now is replaced by a more simple magnetic encoder, designed by R. Janulis. The magnetic sensor reads the magnetic pole positions, and use a controlling device (microprocessor) to determine the angle of the dome, similar to an optical encoder. At the top of the dome there is a hoist to lift weights. The dome is rotated by an electric motor. There is a bottom rail wheel on which rotates the dome. The top floor has doors on the east side (a big one for the mirror). The doors open to a balcony that surrounds the building. The main entrance is on the north side. The dome is covered on the outside with metal plates silver painted, and wood inside. The dome has a crane to move equipment.

Filter wheel: The telescope has a filter wheel coupled with the ability to change automatically the filter used for each observation.. Placed in the filter wheel, there is a complete set of photometric filters.

Encoders: 4 encoders - for RA, DEC, focus and dome. Scale of the gear box is 1:12000. (full revolution of of telescope corresponds 12000 rev. of motor and encoder). Encoders can resolve 0.45 arcsec (on sky).

Derotator: The derotator was initially used to correct field rotation with 3-channel photoelectric photometer, but it is not used today (with CCD cameras).

During 1995-2000, astronomer R. Janulis, also electronics specialist, improved dome and telescope control computer, programs, and synchronized telescope and dome.

Could be interesting improve a new software for monitoring the power supply and data collected by a meteorological station. Also a software that allows turn off power supply of the telescope and dome automatic closure in case of emergency, and a software to manage alarms

generated by a storm detector, as well as the state of the switches that allow cut the power supply current from general lines supplying the observatory (for emergency situations).

Table 4. Types of motors in the 1.65 m. telescope.

Engine	Type/Firm
Right Ascension (RA).	Stepper motor. "JVL Industri Elektronik A/S"
Declination (DEC).	Stepper motor. "JVL Industri Elektronik A/S"
Focus (secondary mirror).	Stepper motor. "JVL Industri Elektronik A/S"
Filter wheel.	Russian manufacture
Protective covers primary mirror.	Russian manufacture
Dome azimuth movement.	Russian manufacture
Opening gate of the dome.	Russian manufacture

Observing nights

According with the WET observing schedule, we started the observations for this period on May 6 (first observing night).

Night of 6 - early hours of May 7. First day of observations. We started the observations everyday at aprox. UT: 20:00 (local time UTC +2, Eastern European Time). We operated the telescope from a Telescope Control Room (TCR) at the 4 floor, just below the observing floor (Figure 22). The Graphical User Interface (GUI) for the photometer control and display of the images software are created by Dr. Rimvydas Janulis. Also the telescope control software named "The telescope" is created by R. Janulis. We used one computer to control the telescope and another one to control the photometer and CCD camera. It receives information from another computer near the telescope (operator panel). Using the USB 2.0 Ranger 440 extender (Figure 21) we can breack the 5 meter distance barrier for the connection. At first the image was defocused. This is because initially the chip receives more photons that can capture. Gradually the image is focused (after aprox. 10 min). We define a circular region around the source and summarize all pixels value inside this region. We observed a small mismatch in the pointing of the telescope; we must continually correct during observations (deviation to the right). We pointed close to the target star, but we didn't center the telescope exactly into the input coordinates and we had to re-point it every time. We found it at the beginning and we spent some time recognizing the star. Maybe it is caused by any of the epicyclic gear mechanism or the continuous instrumental changes. The observation was rated as 'excellent' by the headquarters at the University of Delaware.

Night of 7 - early hours of May 8. R. Janulis individual observation.

Night of 8 - early hours of May 9. At the beginning of the observations (at about 21:30 local time UTC+2) we had an incident with the CCD camera Peltier element. We observed an unexpected temperature rise of the cooler to the ambient temperature (without warnings). We try to locate the problem making another dark field and comparing it with the data of the previous day. We observed significant differences. This may indicate a problem in any of the Peltier elements or in the software. Then we reduced the temperature required and we recover gradually the required temperature in order to reduce noise (aprox. - 29° C).

Night of 9 - early hours of May 10. Cloudy

Night of 10 - early hours of May 11. Cloudy

Night of 11 - early hours of May 12. Cloudy.
Night of 12 - early hours of May 13. Cloudy.
Night of 13 - early hours of May 14. No data.

Night of 14 - early hours of May 15. This day I had the possibility to control the telescope myself for first time and center the star (to be telescope operator). After that, I did it every day. To control the telescope, the right arrow moves the telescope to the left, and the up arrow moves the telescope down (simulating manual movement). Incidents and problems: At 12:45 (local time), in the picture 94, occurred "data errors". We had to go to the telescope and the turn the camera off and back on again. The cooler of the camera returned to the ambient temperature and we had to wait about 15 minutes to recover the necessary -30° C. This CCD camera has a programmable cooling to 55° C below ambient. Meteorites (in our visual field): 11:34; 12:38; 02:32; 03:04 (local time).

Night of 15 - early hours of May 16. R. Janulis individual observation.

Night of 16 - early hours of May 17. No observation. Storm until 00:00 aprox.

Night of 17 - early hours of May 18. We started the observations at about 22:30 UT (00:30 local time UTC+2). Meteorites (in our visual field): 12:40 (frame 07498); 02:12 (frame 07705) (local time). Incidents and problems: On this day the observatory suffered an electric outage of approximately 8 hours, starting at 8 am (local time). This caused a misalignment in the telescope, and encoders lost their position. It took some time before the observation to adjust and locate the star. To adjust the telescope we used the star Alkaid (RA13h 47min 32,4s; DE +49° 18' 48''), at Ursa Major. At 1:56 am (local time) happened the same error that on May 14. This occurred in the frame number 30. The alarm <<data error >>, <<patten error >> appear again. We had to turn off and on the camera again, which took us 26 minutes to recover the necessary -30° C. If we make a mistake and want to correct, we must first abort the GPS and then close at apogee. We did that night 430 frames. The sky value ranged from 1700 (at 2:43) to 3000 (at 3:15), with an exponential increase.

Night of 18 - early hours of May 19. R. Janulis individual observation.

Nights from 19 to 23. Cloudy, stormy and full moon.

Night of 24 - early hours of May 25. Our last observation. We made about 350 CCD frames, in series of 100. The value of the sky not under 5000, because of the influence of the full moon and the sun. Observations started at 23:48 local time and ended at 2:46. At 1:30 about clouds appeared which lasted about 20 minutes. Aptly we decided to wait a little bit and then we could continue another hour observation. The presence of clouds significantly modify the S / I curve, which had numerous peaks and maximum. When the observation is correct the curve must be perfect and closer to the Gauss curve, with only one maximum. In contrast with the previous nights, we did not observe any meteor. Even during such shorts runs as two or three hours it is possible to detect the dramatically changes in temporal spectra of variable stars such GD358 from time to time.

Nights of 25 and 26. Cloudy.

Analysis

The following procedures were performed every night of observation. Exceptionally, and when the weather conditions didn't allow, any of these procedures was shortened or omitted.

Instrumental signature

Flat fielding (el cielo o la cúpula)

Flat field (*esp. campo plano*) is a correction made on the digital image obtained by a CCD camera. Consisting of capturing an image with uniform illumination (the dome of the telescope, the sky at twilight or a special box equipped with a matte white screen). This is done to correct the image defects by variations in pixel-to-pixel CCD sensitivity, vignetting of the optical system, dirt on the sensor, etc... For our work, we made about 10 flat fields between 1 and 10 seconds of exposure (in increments of 1 s). Then we calculate the average of them to reduce noise and other defects on the chip (master flat). Sky background is described by Poisson statistics, similar to photon noise from the observed target. Read-out noise is introduced during the process of reading the charge. Typically 3-5 electrons / pixel.

Dark fielding

A dark frame (*esp. campo oscuro*) is a noise image captured with the sensor in the dark (on long exposure, can appear as bright pixels). Is generated due to thermal motion of Si atoms, highly temperature dependent, usually 1 electron / pixel / hour. In summary, dark current is the thermal noise of the amplifier. The dark-frame-subtraction is technique used in astronomy to correct noise caused by dark current (correction for the pixel variation). We made every day several dark frames and calculated an average of them (master dark). The CCD in a camera has a non-zero temperature, which is a measure for the kinetic energy of a larger number of particels. Some electrons have a high enough energy to end up in pixels without the need of an 'activating' photon. This is called dark current, which is different from pixel to pixel and also noisy.

Exposures

The sequence of exposures used to stop after 100 frames of 17.50 s (almost 50 min). We made exposures on a small area of the CCD camera, in order to decrease the read out time. Each day we made an average of about 500 frames (in series of 100 frames).

Bias/Offset (apagado)

Are used to remove from the image files the read-out signal from the CCD chip. A *Bias* exposure is an image with the shutter closed and the shortest possible exposure time (exposure time set to zero). The Bias shows the electronic noise of the camera and possible systematics. A master Bias, calculated from aprox. 10 single images. BIAS is the DC offset level for the on-chip amplifiers. A master BIAS is the average of aprox. 10 images

Table 5. Summary table of the observations of GD358 in Moletai. May 2013.

Date	Observers	Time (UT)	WET calibration
May 6/7	R. Janulis & C. Viscasillas	20:00	"Excellent"
May 7/8	R. Janulis	20:00	"Excellent"
May 8/9	R. Janulis & C. Viscasillas	20:00	"Excellent"
May 9/10	Cloudy	-	-
May 10/11	Cloudy	-	-
May 11/12	Cloudy	-	-
May 12/13	Cloudy	-	-
May 13/14	No data	-	-
May 14/15	R. Janulis & C. Viscasillas	20:00	"Good"
May 15/16	R. Janulis		"Good"
May 16/17	Storm and cloudy	-	-
May 17/18	R. Janulis & C. Viscasillas	22:30 - 01:17	"Good"
May 18/19	R. Janulis		"Useful"
May 19/20	Storm and Cloudy	-	-
May 20/21	Cloudy	-	-
May 21/22	Cloudy	-	-
May 22/23	Cloudy	-	-
May 23/24	Cloudy	-	-
May 24/25	R. Janulis & C. Viscasillas	21:48 - 00:46	"Good"
May 25/26	Cloudy	-	-
May 26/27	Cloudy	-	-

For the analysis of data is used the "Image Reduction and Analysis Facility" (IRAF), software system for the reduction and analysis of astronomical data. IRAF is written and supported by the National Optical Astronomy Observatories (NOAO) in Tucson, Arizona. NOAO is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), Inc. under cooperative agreement with the National Science Foundation. The european version of IRAF could be the ESO-MIDAS system, which provides general tools for image processing and data reduction with emphasis on astronomical applications including imaging and special reduction packages for ESO instrumentation at La Silla and the VLT at Paranal (Chile). IRAF covers both 32-bit and 64-bit Linux and Mac OSX systems (Intel and PPC), and MIDAS can be also implemented on UNIX/Linux and Mac OSX systems.

Fourier transform tell us about pulsations. Prominent peak in the amplitude spectrum which mean that the star was pulsating with these frequency. We clearly see a strong pulsation at aprox. 1300 and 1400 μHz (frequency of the main oscillation), according with the observations since 1990. The results should show pulsations at the same frequency of previous years. Different frequencies may be due to noise. Airmass makes light can make curve diverge. From the observations made are the following curves: Light curve and Fourier Transforms (FT).

We can conclude concerning these observations that the amplitudes of the oscillations in GD358 are not stable and change from night to night.

Images are in Flexible Image Transport System (FITS) format, very useful for transmission and processing of scientific images. FITS is the most commonly used digital file format in astronomy. The images should take the following format: mole130518_log (eg for a frame taken on May 18, 2013).

Results, Discussion and Conclusions

The results of these observations will be analyzed in conjunction with those other observatories in the world in the Delaware Asteroseismic Research Center (DARC), U.S.A. A continuous study of GD358 is necessary to better understand its workings. The analysis process can take even 30 years of observations. The first observations of GD358 began in the 80s. The study of GD358 in his different epochs should be useful for understanding the mechanism at work in the variable white dwarfs.

I have learned how work professional astronomers in an international team and what are the common problems that astronomers have to face in real observations. In May there are the best conditions for observation of GD358, because its position in the sky. Weather conditions, phase and position of the moon, duration of the night are some of the factors that we had to check and face everyday. Despite not perfect weather conditions this May, the aim of the traineeship was achieved. We live one month expectant of the sky and weather conditions. Also technical problems occurred during the observations: the CCD camera cooler, telescope deviation, software problems, outage, storms, that only with the experience and necessary knowledge can be solved. I have learned instrumental maintenance tasks, as well as the preparation of observations in advance. I have also learned the interconnection between different instruments, the multidisciplinary aspect of astronomy, and the application of my knowledge in science and engineering: physics, electronics, informatics, mechanical and optical engineering... everything is connected. I've also known astronomers lifestyle, and to plan well the day (the hours of rest, the hours of study, in anticipation of clear skies). Also to plan the food, because the observatory is in the forest and we were traveling only once a week to the village. Working at night and sleeping during the day, just living in the observatory, in coexistence with astronomers I could know all this things. I can say that it was one of the more instructive and interesting experiences in my life.

Acknowledgments

Special thanks to my instructor and mentor Dr. Rimvydas Janulis -Institute of Theoretical Physics and Astronomy (TFAI), Vilnius University-, for let me to work on this exciting project and for sharing with me the hours of observation. His technical explanations during the nights of observation on the instrumentation and mechanisms will be very useful to me. Also his scientific explanations, the daily problems we face during the observations, and work in an international team of research. Not only nighttime observations, but also the daily work, and his comments on the maintenance and new development of instruments at the observatory. Many components and computer programs have been assembled or designed by him. His technical knowledge in electronic engineering were also of great benefit. Community and daily life at the observatory and contact with astronomers, former astronomers, PhD students and staff has also been very positive. Share the daily work with astronomers and contact with nature promotes research, study and concentration. Also thanks to the director of the Institute of Theoretical Physics and Astronomy (TFAI) and Head of Astronomical Observatory, Dr. Habil. Gražina Tautvaišienė, Chief Researcher, for hosting

me, and also to the Deputy Director of the Institute Dr. Algirdas Kazlauskas, Senior Researcher and my supervisor, for organizing for me a very interesting and instructive work plan. Also thanks to the astronomer Viktoras Deveikis, my instructor at the 63 cm telescope; and to the wise Professor Dr. Vytautas Straižys, observatory soul, for his teachings and daily support. Unfortunately due a problem in the CCD camera in the Maksutov telescope, I couldn't make work observations in this telescope to complete the work plan; but I could make some observations with the experienced astronomer Dr. Kazimieras Zdanavičius, at the same place and telescope from which he discovered asteroids years ago.

References

About GD358 see also:

- G. Fontaine, J. T. McGraw, L. Coleman, P. Lacombe, J. Patterson, G. Vauclair. 1980. "ApJ" 239, pp. 898-904.
J. T. McGraw, S. Bonazzola, 1981. "ApJ" 229, pp. 203-211.
D. Odonoghue. "Royal Astronomical Society", Monthly notices, vol. 220.
G. Vauclair, S. Bonazzola, 1981. "ApJ" 246, pp. 947-950.
S. O. Kepler. 1984. "ApJ" 278, pp. 754-760.
Diana Astrid Fiuza. 2005. "Teide Observations of GD358", Moletai School "Looking Inside Stars", pp. 91-94.
VV. AA. 2009. 2006 Whole Earth Telescope observations of GD358: a new look at the prototype DBV, "ApJ" 693.

About asteroseismology, see:

- C. Aerts, J. Christensen-Dalsgaard, D. W. Kurtz. 2010. Asteroseismology, Astronomy and Astrophysics Library.

About the Moletai Astronomical Observatory (MAO), see:

- Vytautas Straižys. 2012. Molėtų astronomijos observatorija, Kulionys.

About instruments: Technical manuals and user guides.

Abbreviations:

- Institute of Theoretical Physics and Astronomy = TFAI
- Moletai Astronomical Observatory = MAO
- Whole Earth Telescope = WET
- Lifelong Learning Programme = LLP
- International Astronomical Union = IAU
- The Astrophysical Journal = ApJ.

HISTORIA CRONOLÓGICA DE LA ASTRONOMÍA EN LITUANIA

Libertas KLIMKA¹; Vytautas STRAIŽYS²; Carlos VISCASILLAS³

¹ Universidad Lituana de Ciencias de la Educación. Vilnius. Lituania

² Instituto de Física Teórica y Astronomía. Universidad de Vilnius. Vilnius. Lituania

³ Observatorio Astronómico de Molėtai. Molėtai. Lituania

Resumen

El presente trabajo es una recopilación sobre la cronología histórica detallada de los principales progresos y eventos de la Astronomía en Lituania durante el último milenio.

Abstract

This work is a detailed historical chronology of the main events of Astronomy in Lithuania during the last millennium.

Cronología

1009. La Crónica de Quedlinburg (Anales de Quedlinburg) menciona por primera vez el nombre de Lituania.

1066. La Crónica de Ipatiev (Códice de Ipatiev) describe el cometa Halley en el cielo de Lituania.

1236-1263. Lituania gobernada por el rey Mindaugas.

1241. El Hermano de la Orden Teutónica Peter von Dusburg (*esp. Pedro de Duisburgo*) describe un eclipse solar en su "Crónica de la Tierra Prusiana" (*lat. Chronicon terrae Prussiae*).

1261. La versión eslava de la *Chronographia* del cronista bizantino Juan Malalas describe la religión lituana: primera mención de que los lituanos adoran a los cuerpos celestes.

1264. El Hermano de la Orden Teutónica Pedro de Duisburgo, en su "Crónica de la Tierra Prusiana" (*lat. Chronicon terrae Prussiae*) escribió: "apareció un cometa brillante, que nadie ha visto antes".

1265. El primer Observatorio es construido en Vilnius cerca del templo de Perkūnas (dios del trueno) para la observación de los movimientos del Sol, la Luna, planetas y estrellas (ahora, la torre de la campana de la catedral de Vilnius).

1300-1413. Un observatorio con columnas opera en Palanga, cerca del Mar Báltico. Observaciones de momentos y acimutes de los movimientos del Sol y de la Luna.

1301. Pedro de Duisburgo describe un mini cometa que aparece en la constelación de Escorpio.

1313. Hacia el día de San Jorge, según Pedro de Duisburgo, apareció un cometa que "durante 10 noches mostró su cola en Italia".

1316-1341. Lituania es gobernada por el Gran Duque Gediminas.

1326. Pedro de Duisburgo escribió: "Los prusianos no conocieron a Dios ... por error adoraron como dioses a todo tipo de objetos y criaturas, a saber: el sol, la luna y las estrellas, los truenos, las aves y los cuadrúpedos"

1330. Lituania observó el eclipse solar anular.

1387. Cristianización de Lituania. El templo de Perkūnas es destruido.

1392-1430. Lituania es gobernada por el Gran Duque Vytautas.

1410. Batalla de Grunwald (también llamada Batalla de Žalgiris o de de Tannenberg) entre los lituanos y polacos contra los Caballeros Teutónicos alemanes.

1413. Los samogitios aceptan el cristianismo.

1418. El cardenal Pedro D'Ailis escribe "los astrónomos de Vilnius" están capacitados para administrar inteligentemente el calendario.

1492. Cristóbal Colón llega a las costas de América.

1495. Publicación del libro "Las mejores explicaciones de la teoría planetaria" (*lat. Commentaria utilissima in theoricis planetarum*, Milano) por el astrónomo Alberto Blar Brudzewski (también conocido como Wojciech Brudzewski), secretario del Gran Duque de Lituania, Alejandro Jagellón.

1522. El impresor Francisco Skorina (Francysk Skaryna o Skoryna) establece la primera Imprenta del Gran Ducado de Lituania, e incluye un calendario en el primer libro publicado: "La pequeña guía de viaje".

1529. Simon Grunau en su Crónica Prusiana (*Preussische Chronik*) enumera los antiguos dioses prusianos, y la bandera de Prusia (bandera blanca de Videvuto) representa a los tres dioses prusianos: A la izquierda, el dios del inframundo, Peckols; en el centro, el dios del trueno Perkūnas; a la derecha, el dios de las cosechas, Patrimpas. La bandera muestra unos símbolos misteriosos de escritura indescifrable, parecidos al alfabeto cirílico.

1540. Georg Joachim von Lauchen Retyk (*esp. Jorge Retik*) publica en Gdansk (en la actual Polonia) el libro "La primera historia sobre el sistema heliocéntrico" (*Narratio prima*). Después J. Retik se convierte en el secretario del rey de Lituania y trae las ideas copernicanas a Lituania.

1543. Se publica en Nuremberg la obra fundamental de Nicolás Copérnico "De revolutionibus orbium coelestium" (*Sobre el movimiento de las esferas celestiales*), que ayudó a la comprensión heliocéntrica y constituyó una hipótesis matemática para explicar mejor el movimiento de los planetas y otros cuerpos celestes. Pronto aparece el trabajo en Lituania.

1547. Martinus Mossvidius (*lit. Martynas Mažvydas*) publica el primer libro en lituano.
1566. El Segundo estatuto lituano legitima las mediciones locales.
1570. Se establece el Colegio de los Jesuitas, que en 1579 se transforma en la Academia (Universidad de Vilnius).
1579. Inauguración de la Universidad de Vilnius.
1580. Joannes Lasicius (*esp. Juan Lasicius; lit. Jonas Lasickis*) escribió el texto "Sobre los dioses de los samogitanos, los sármatas y los falsos cristianos" (*lat. De diis Samagitarum caeterorumque Sarmatarum et falsorum Christianorum*), impreso en Basilea en 1615.
1582. Lituania adopta el calendario gregoriano, en sustitución del calendario juliano.
1588. El cronista prusiano Juan Bretkūnas (*lit. Jonas Bretkūnas*) describe la religión pagana en el Báltico en su "Crónica de la Tierra Prusiana" (1576-1579).
1620. Diccionario lituano-polaco-latín de Constantino Sirvydas (*lit. Konstantinas Sirvydas*), en el que aparecieron por primera vez en Lituania algunos nombres de planetas y constelaciones.
1627. El poeta Mathias Casimiro Sarbievius (*lit. Motiejus Kazimieras Sarbievijus*), S.J. escribió el estudio "Dioses paganos" (*Dii gentium*), que además de la antigua mitología lituana, describe el conocimiento de la adoración celestial.
1629. El matemático de la Universidad de Vilnius Andrés Milewski (*lit. Andrius Milevskis*) escribe un tratado astronómico, -el manuscrito mas antiguo conocido en Lituania-. Se discute el sistema heliocéntrico copernicano del mundo y declara que "Dios diseñó un gran número de diferentes tipos de mundos."
1633. La vilniense Ionnes Rudomina Dusiatski (*lit. J. Rudamina-Dusetiškis*) publica el primer libro sobre las ciencias más famosas, las matemáticas, la óptica, teoremas de geometría y astronomía esférica y problemas" (*Illustriora theoremata et problemata mathematica ex optis, geometria, astronomia, sphaera elementari, computo ecclesiastico in alma Academia Vilnensi S.I.*). La sección Astronómica describe el sistema heliocéntrico de Copérnico, al que llama gran astrónomo.
1638. Aparece un calendario rúnico (o bastón rúnico) de madera. En el Museo Nacional de Lituania se conserva una copia. El original se trasladó a Kiev en 1857.
1639. Alberto Dyblinski publica en Vilnius el libro en lengua latina "Centuria Astronomica" (el primer libro de astronomía publicado en Lituania).
- 1643-45. Osvaldo Kruger enseña el sistema copernicano en la Universidad de Vilnius.
- 1650 El especialista de artillería Casimiri Siemienowicz (*esp. Casimiro Semenowicz; lit. Kazimieras Simonavičius*) publica en Amsterdam su libro "El gran arte de la artillería" (*Artis magnae artilleries*). En el se dan las primeras descripciones de cohetes multietapa.

1655. Adamus Adamandus Kochanski (*esp. Adán Kochanski; pol. Adam Kochański*) graduado por la Universidad de Vilnius, establece el fenómeno del isocronismo del péndulo, y lo aplica para la construcción de un reloj de péndulo.

1675. El italiano Tito Livio Burattini publica en Vilnius su libro "Misura universale" (Medición universal), que introdujo por primera vez el término *metro* como unidad de longitud.

1680. En las orillas del río Strėva cerca de Kietaviškės es descubierto el llamado Cetro de Gediminas, calendario lunisolar lituano medieval.

1698. El historiador y etnógrafo de la Lituania Menor Matthaeus Praetorius (*esp. Mateo Prätorius; lit. Matas Pretorijus*) en su obra "Teatro Prusiano" (*Deliciae Prussicae oder Preussische Schaubuhne*) describe las comidas, la religión pagana, el folclore, forma de vida, costumbres, creencias, y el lenguaje en los territorios de Prusia. Por primera vez, describe la división del día en 16 partes. Más tarde el etnógrafo e historiador lituano Simon Daukantas (*lit. Simonas Daukantas*) trata de complementar hasta 24.

1736. Jan Poszakowski S.J. (*esp. Juan Pašakinis*) comienza en Vilnius un calendario (en polaco). Desde 1757 el trabajo lo continúa Franciszek Paprocki S.J. (*esp. Francisco Paprockis; lit. Pranciškus Paprockis*). Desde 1768 lo llamaron calendario Vilnius.

1747. El filólogo de la Lituania Menor Philipp Ruhig (*esp. Felipe Ruigys; lit. Pilypas Ruigys*) publica un Diccionario lituano-alemán (*Littauisch-Deutschen und Deutsch-Littauischen Lexicon*), que contiene nombres en lituano de planetas, constelaciones y fenómenos celestes.

1753. Fundación del Observatorio de la Universidad de Vilnius para observaciones del Sol, de la Luna, planetas y sus satélites, cometas, asteroides, eclipses solares y lunares, determinación de las coordenadas geográficas de las ciudades, etc.

1756. Tomasz Żebrowski S.J. (1714-1758) (*lit. Tomas Žebrauskas*) determina la latitud de Vilnius.

1755. El filósofo y astrónomo Immanuel Kant, lituano de origen en Königsberg (Prusia Oriental), publicó en su obra "Historia general de la naturaleza y teoría del cielo" la hipótesis de la nebulosa protosolar, deduciendo que el Sistema Solar se formó de una gran nube de gas (nebulosa).

1758. Jacob Nakcyanowicz S. J. (1725-1777) (*esp. Jacobo Nakcijonavičius; lit. Jokūbas Nakcijonavičius*) director del Observatorio de Vilnius.

1764. Martin Odlanicki-Poczobut S.J. (1728-1810) (*esp. Martín Počobutas; lit. Martynas Počobutas*) director del Observatorio de Vilnius. Un cráter de la Luna lleva su nombre.

1765-1775. Cristián Donelaitis (*lit. Kristijonas Donelaitis*) de la Lituania Menor (Prusia Oriental) escribió el poema "Metai" (Años).

1765. Martynas Počobutas publicó el primer trabajo científico de prensa sobre la observación del eclipse solar en Nápoles.

1766. Martín Počobutas S.J. (1728-1810) (*lit. Martynas Počobutas*) midió las coordenadas geográficas de Vilnius. El Observatorio de Vilnius es galardonado con el título de Real Observatorio.

1774. Martín Počobutas S.J. (1728-1810) (*lit. Martynas Počobutas*) comienza el "Calendario de Vilnius" (*Kalendarz Wileński*). Los trabajos continuaron hasta el año 1795.

1779-1781. Ignoto Manuviro produce relojes de sol horizontales (relojes horizontales). Se conservan en Museos de Vilnius, Minsk y Grodno.

1782. Martín Počobutas comienza la construcción del edificio anexo al Observatorio de Vilnius, diseño del arquitecto Martin Knackfuss (*lit. Martynas Knakfusas*).

1788. Son finalizadas las obras de ampliación del Observatorio de Vilnius, y el nuevo edificio es llamado "Nuevo Observatorio".

1795. Ocupación de Lituania por el Imperio Ruso.

1807. Jan Sniadecki (1756-1830) (*esp. Juan Sniadeckis; lit. Jonas Sniadeckis*) director del Observatorio de Vilnius. Un cráter de la Luna y un asteroide llevan su nombre.

1811. Es visible en Lituania el Gran Cometa de 1811 (nombre oficial es C/1811 F1), alcanzando una magnitud aparente 0.

1812. Lituania es ocupada por el ejército napoleónico.

1825. Piotr Sławinski (1795-1881) (*esp. Pedro Slavinskis; lit. Petras Slavinskis*) director del Observatorio de Vilnius.

1826. P. Slavinskis publica el libro "Fundamentos de Astronomía Teórica y Práctica" (en polaco).

1832. Clausura de la Universidad de Vilnius; el Observatorio se convierte en una sección del Observatorio de Pulkovo.

1835. T. Narbutt (1784-1864) (*esp. Teodoro Narbuto; lit. Teodoras Narbutas*) comienza su "Historia de la antigua nación lituana" (*pol. Dzieje starożytne narodu Litewskiego*), 9 volúmenes en polaco que abarcan el período comprendido entre la prehistoria a la Unión de Lublin. Describe la antigua mitología lituana, que contiene una gran cantidad de conocimientos acerca de los nombres de los cuerpos celestes y su culto. P. Slavinskis comienza a publicar una publicación periódica del Observatorio Vilnius - "Informes de las observaciones" (que se publicaron hasta 1842).

1843. Michal Hłuszniewicz (1797-1862) (*esp. Miguel Hłuszniewicz; lit. Mykolas Hlušnevičius*) director del Observatorio de Vilnius. Brilla en el cielo de Lituania el gran cometa de marzo de 1843, uno de los cometas más brillantes de la historia recogida.

1845. Simón Daukantas (*lit. Simonas Daukantas*) publica el libro "Sobre la forma de ser de

los antiguos lituanos, los habitantes de las tierras altas (*lit. kalniečiai, aukštaičiai*) y de los habitantes de las tierras bajas (*lit. žemaičiai*". Esta es la primera historia de la lengua lituana.

1846. Lorenzo Ivinskis (1810-1881) (*lit. Laurynas Ivinskis*) publica en Vilnius el primer calendario impreso en 1846. Publicado intermitentemente hasta 1879.

1847. Erdmonas Šesnakas (1797-1864) y Juan Urbonas (1807-1886) (*lit. Jonas Urbonas*) comienzan a publicar el "Calendario Prusiano", que presentó una serie de conocimientos astronómicos. Se mantiene hasta 1879.

1848. Jegor N. Fuss (1806-1854) (*esp. Yegor N. Fuss; lit. Jegoras Fusas*) director del Observatorio de Vilnius.

1854. George G. Sabler (1810-1865) (*esp. Yegor G. Sabler; lit. Jegoras Sableris*) director del Observatorio de Vilnius.

1855. El astrónomo vilniense Matvej Gusev (1826-1866) (*lit. Matvejus Gusevas*) publica un estudio sobre el Cetro de Gediminas - el calendario más antiguo lituano.

1858. La población lituana observó con interés la belleza del Cometa Donati. Después del Gran Cometa de 1811, fue el cometa más brillante que apareció en el siglo XIX. También fue el primer cometa fotografiado.

1859. Vilnius estrena la primera línea telegráfica con San Petesburgo.

1860-1863. El vilniense M. Gusevas publicó artículos astronómicos y noticias en la primera revista científica del Imperio ruso "Noticiero de ciencias matemáticas".

1861. Es observado en Lituania el Gran Cometa de 1861, que igualó a Venus en brillo, y con una longitud de la cola de 120 grados.

1862. Lituania inaugura la primera línea telegráfica transfronteriza.

1864. El Observatorio de Vilnius comienza sus observaciones solares fotográficas.

1866. Piotr M. Smyslov (1827-1891) (*esp. Pedro Smyslov; lit. Petras Smyslovas*) director del Observatorio de Vilnius.

1868. El Observatorio de Vilnius comienza investigaciones en fotometría estelar y extinción atmosférica con un fotómetro Schwerd.

1870. Es instalado en el Observatorio Vilnius un espectroscopio Merco.

1876. Incendio en el edificio del Observatorio, y su posterior cierre en 1882.

1877. Cae un meteorito negro pedregoso en un pueblo de la provincia de Panevėžys.

1882. Cierre del Observatorio de Vilnius. Observado en Lituania el Gran Cometa de 1882. El brillo del cometa fue tal que, en su perihelio, podía ser observado junto al sol incluso durante el día. Primera línea telefónica en Rietavas.

1893. Se publica en Tilsit (*lit. Tilžė*), actual Sovetsk (óblast de Kaliningrado), el pequeño libro en lituano "El cielo, el sol, la luna, las estrellas, los planetas y los cometas" (Suplemento del periódico "El Campesino").

1896. José Adomaitis-Šernas (1859-1922) (*lit. Juozas Adomaitis-Šernas*) publicó en Chicago "Sobre la tierra y otros mundos, su existencia y el fin".

1904. Prohibición de la prensa en lituano.

1907. Se establece en Vilnius la Sociedad Científica Lituania, predecesora de la futura Academia Lituana de Ciencias.

1908. Cae en el área de Akmenė (Lituania) un meteorito de alrededor de 1 kg.

1909. Publicación lituana del libro de Gerutis-Balvočius "Aldeanos del cielo".

1910. Observación en Lituania del cometa Halley.

1918. Restablecimiento de la independencia de Lituania.

1919 Reapertura de la Universidad de Vilnius y su departamento de astronomía

1920. P. Dovydaitis redactor de la revista "Kosmos", en la que son publicados numerosos artículos astronómicos de B. Kodatis, P. Slavenas y A. Juska. La revista dejó de editarse en el año 1940.

1921. Comienza a editarse el Boletín del Observatorio Astronómico de la Universidad de Vilnius. Inicio de la construcción del Observatorio de la Universidad de Vilnius cerca del Parque Vingio.

1922. Apertura de la Universidad de Kaunas y su departamento de astronomía.

1928. Fundación del Observatorio Universitario de Kaunas.

1929. Cae un meteorito en el término municipal de Anykščiai, cerca del pueblo Andrioniškis. Los restos encontrados tenían un peso total aproximado de 4 kg.

1933. Astrónomos y geólogos lituanos recogen en Žemaitkiemis (distrito de Ukmergė) los restos de un meteorito pedregoso, de un peso total de alrededor 42 kg. El Observatorio de Vilnius en la calle Čiurlionis finalizó la construcción del edificio con las dos torres.

1935. El profesor de Plunge Segismundo Masaitis publicó un anuncio en la revista "Kosmos" para recoger el conocimiento astronómico popular y los nombres de estrellas.

1936. Publicado en la revista "Kosmos" un estudio de B. Kodatis sobre los nombres en lituano de los objetos astronómicos. Comienza la publicación de una revista trimestral lituana "Naturaleza", publicada por la Sociedad de naturalistas, que a menudo publica artículos de divulgación del conocimiento astronómico.

1938. El Observatorio de Vilnius adquiere un telescopio de 48 cm, y el Observatorio de Kaunas uno de 63 cm.

1939. Fusión de los Observatorios de Vilnius y Kaunas.

1944. Renovación de la Universidad de Vilnius y el Departamento de Astronomía y el Observatorio, bajo la dirección de Paulius Slavėnas (1901-1991) (*esp. Pablo Slavėnas*).

1946. Publicación del libro "Historia del Mundo" y "Sistema Solar" de Paulius Slavėnas.

1948. Publicación del libro "Estrellas" de Pablo Slavėnas (*lit. Paulius Slavėnas*). Con este libro de texto estudiaron muchos de los futuros astrónomos de Lituania en la post-guerra.

1949. Terminan sus estudios en la Universidad de Vilnius los primeros astrónomos de la posguerra.

1952-56. Observaciones fotográficas de asteroides y estrellas variables.

1957. Apertura del Departamento de Astronomía en el Instituto de Física y Matemáticas de la Academia Lituana de Ciencias. Inauguración de la Estación Satelital artificial terrestre Vilnius.

1958. Reconstrucción del telescopio de 48 cm en el Observatorio Astronómico de Vilnius.

1959. Comienzo de las investigaciones de la extinción interestelar de la galaxia.

1960. Comienzo de la publicación del "Boletín del Observatorio Astronómico de Vilnius".

1961. Publicación del libro colectivo "Cielo estrellado".

1962. Primera observación fotoeléctrica de estrellas en Lituania.

1963-65. Desarrollo del Sistema fotométrico de 7 colores "Vilnius" para la clasificación de estrellas afectadas por el enrojecimiento interestelar.

1966. Primera fotometría fotoeléctrica de estrellas con el sistema Vilnius.

1967. Se establece el Instituto de Física y Matemáticas, Sección de Astrofísica (dirigido por V. Straižys). Se publica el libro de Gunaras Kakaras "Cien misterios de la astronomía".

1968. El telescopio de 48 cm es situado en el Observatorio de Crimea (Ucrania), cerca de Simeis.

1969. Empieza a funcionar el primer telescopio del Observatorio de Molėtai.

1970. Creación de la metodología para clasificar estrellas según su metalicidad mediante el sistema Vilnius (A. Cuotas y V. Straižys). Se observa en el cielo lituano el cometa Bennett.

1971. V. Straižys defiende su tesis doctoral en la Universidad de Tartu.

1972. Publicación del libro de Antonio Juška (*lit. Antanas Juška*) "Constelaciones del mundo".

1973. establece también la Sociedad de toda la Unión de Astronomía y Geodesia División de Lituania.

1974. Primera luz del telescopio de 63 cm en el Observatorio de Molėtai.

1975. El telescopio de 48 cm es trasladado de Crimea al Observatorio de Maidanak en las montañas de Pamir, en Asia Central (altitud 2500 m).

1976. Disgregación del Instituto de Física y Matemáticas. La División de Astrofísica se traslada al Instituto de Física. El Observatorio de Molėtai comienza la construcción de la gran torre. Se observa en los cielos de Lituania el asteroide Vesta, que por su tamaño e inusual superficie lo hacen el asteroide mas brillante. Publicado el libro de V. Kaminskas "Astronomía esférica y mecánica celeste". Primer encuentro de astrónomos lituanos. Pablo Slavėnas (*lit. Paulius Slavėnas*) interpreta los cuentos de Eugenija Šimkūnaitė, ofreciendo nombres lituanos de los planetas.

1977. Se publica el libro "Astrofísica" de A. Ažusienis, A. Juška et G. Kakaras y la monografía de V. Straižys "Fotometría estelar multicolor". Se termina el edificio administrativo del Observatorio de Molėtai.

1978. Se inicia la construcción en el Observatorio Maidanako de la torre del telescopio de 1 m de diámetro (gerente de obras J. Sūdžius). Se adquiere un telescopio de la firma alemana Carl Zeiss. Nombrado director del Observatorio astronómico Romualdas Kalytis.

1979. V. Straižys y K. Zdanavičius proponen un nuevo método de clasificación de los cúmulos estelares globulares. El Observatorio de Moletai promueve reuniones y acuerdos sobre espectrofotometría estelar. Se establece en Vilnius el Instituto Pedagógico Estatal de Física y Astronomía.

1980. K. Černis y J. Petrauskas descubren un nuevo cometa. E. Meištas y V. Straižys determinan la distancia a la nube oscura de Taurus. A. Bartkevičius publica un catálogo de estrellas no metálicas. Publicación del libro de Z. Sviderskienė "Alfabeto Astronómico". El Observatorio de Moletai abre al público el Museo Histórico Astronómico.

1981. Primera luz del telescopio de 1 m en el Observatorio de Maidanak, en las montañas del Pamir, Uzbekistán.

1982. Se coloca la cúpula de 12 m de diámetro en la torre del telescopio de 165 cm del Observatorio de Moletai. Publicada la monografía de V. Straižys "Estrellas pobres en metales". Se presenta un sistema fotométrico conjunto Vilnius-Ginebra. El Observatorio de Molėtai acoge las pruebas de cámara electrográfica de R. Drazdys. Sale a la luz el libro de Z. Sviderskienė "El Universo y nosotros".

1983. A. Bartkevičius y J. Sperauskas publican los resultados de la clasificación estelar no metálica. Descubiertas las estrellas más viejas de la galaxia. Se publica el libro de Z. Sviderskienė "Constelaciones". K. Černis descubre su segundo cometa.

1984. Se publica el "Diccionario Enciclopédico de Astronomía" de A. Juška y V. Straižys. Z. Sviderskienė publica la colección de artículos "Astronomía lituana".

1985. A. Juška publica el libro "La familia solar".

1986. Primera fotometría CCD con el Sistema Vilnius en el Observatorio Kitt Peak de Arizona (EE.UU.).

1987. Se llevaron al Observatorio de Moletai algunas partes del telescopio de 165 cm. En la colina Kapelių se comenzó la construcción del Museo de la Astronomía (actualmente Museo Etno-cosmológico). Se crea una metodología para clasificar las estrellas mediante el sistema Vilnius (V. Straižys y J. Šleivyte). Se organiza el primer concurso nacional de jóvenes astrónomos "El hombre y el Universo".

1988. Comienzan las investigaciones espectrales de la composición química de las estrellas y evolución química de la galaxia.

1989. Se determina la distancia de la Nebulosa Norteamérica y la Nebulosa Pelicano (V. Straižys E. Meištas, V. Vansevičius, A. Kazlauskas). Se establece una metodología para la clasificación de las enanas blancas mediante el sistema de Vilnius (V. Straižys y K. Černis). Junto con astrónomos de Letonia se demuestra que el sistema Vilnius permite la detección de emisiones de estrellas jóvenes. K. Zdanavičius y K. Černis descubren capas de nubes en el satélite de Saturno Titán. Se publica el libro de A. Ažusienis "Física de la materia interestelar" y el libro de P. Dundulienė "Cosmología popular lituana". Se lanza espacio con el cohete Ariane 4 el satélite astrométrico de la Agencia Espacial Europea "Hipparcos", en cuyo programa de seguimiento participó A. Bartkevičius. Aparece el anuario astronómico "Cielo Lituano" (*lit. Lietuvos dangus*).

1990. Segunda restauración de la Independencia de Lituania.

1991. Primera luz del telescopio de 165 cm en el Observatorio de Molėtai.

1992. Comienza la publicación de la revista internacional "Baltic Astronomy".

1993. Autoridades de Uzbekistan nacionalizan los telescopios lituanos de 48 cm y 1 m con todos sus edificios, equipos y otras propiedades. Astrónomos de Vilnius se unen al programa "Whole Earth Telescope" (WET) para el estudio de la asterosismología (o astrosismología) de las enanas blancas.

1994. El cometa Shoemaker-Levy 9 colisionó con Júpiter. V. Straižys y A. Kazlauskas investigan la Nebulosa Saco de Carbón en colaboración con astrónomos argentinos. S. Bartašiūtė contribuye con sus observaciones fotométricas a la medición de los paralajes de múltiples estrellas mediante el telescopio orbital Hipparcos y confirma la existencia de regiones polares en el disco grueso galáctico.

1995. Comienza la participación en el proyecto "Gaia" de la "Sociedad Astronómica Europea" (SAE). El Sistema Vilnius es propuesto para la clasificación fotométrica de 1 billón de estrellas.

1996. Fundación de la Unión Astronómica Lituania. Lituania hace un seguimiento del cometa Hyakutake, de magnitud 0. A. Cuotas y R. Lazauskaitė crean un método de clasificación estelar con el que determinan los parámetros físicos de 1660 estrellas del halo galáctico. Se calcula la distancia de la Nube oscura de la serpiente y la nube oscura de la jirafa (V. Straižys, K. Černis, S. Bartašiūtė, A. Kazlauskas, K. Zdanavičius y J. Zdanavičius).

1997. El cielo de Lituania adornado con el cometa Hale-Bopp, del que se hicieron cientos de fotografías en color. Se renueva la torre del telescopio Maksutov. G. Tautvaišienė investiga la rama horizontal de la composición química estelar.

1998. Comienzan las mediciones de la velocidad radial de las estrellas con una nueva clase de instrumento Coravel.

1999. Primera fotometría en Molėtai con la cámara CCD de la Universidad de Tromsø (Noruega).

2002. Primera fotometría con la cámara CCD "Princeton Instruments" comprada para el Observatorio de Molėtai.

Referencias

Klimka, L., Straižys, V. 2000. Tūkstantmetė laiko juosta: pp. 71-87. Lietuvos Dangus. Vilnius Lithuania.

Straižys, V. 2012. Molėtų astronomijos observatorija. Kulionys. Lithuania.

Imágenes

Galería de astrónomos y personajes ilustres lituanos o relacionados con Lituania. Colección de retratos exhibidos en el Salón de Actos del Observatorio Astronómico de Molėtai (MAO), obras del pintor lituano Šarunas Milkevičius (Fotografías: C. Viscasillas).



Imagen 1. Krivis Lizdeika (1295-1350). Sumo sacerdote del Ducado de Lituania.



Imagen 2. Nicolás Copérnico (1473-1543).



Imagen 3. Tomasz Żebrowski S.J. (1714-1758). Fundador del Observatorio de Vilnius.



Imagen 4. Immanuel Kant (1724-1804).



Imagen 5. Martynas Počobutas (1728-1810).



Imagen 6. Jan Śniadecki (1756-1830).



Imagen 7. Teodoras Narbutas (1784-1864).



Imagen 8. Petras Slavinskis (1795-1881).



Imagen 9. Laurynas Ivinskis (1810-1881).



Imagen 10. Matvejus Gusevas (1826-1866).



Imagen 11. Petras Smyslovas (1827-1891).



Imagen 12. Vladislavas Dziejulskis (1878-1962).



Imagen 13. Bernardas Kodatis (1879-1957).



Imagen 14. Paulius Slavėnas (1901-1991).



Imagen 15. Antanas Juška (1902-1985).



Imagen 16. Vilhelmina Ivanovska (1905-1999).

RESEÑAS REVIEWS

MANAGEMENT OF WATER RESOURCES IN PROTECTED AREAS

Antonio M. MARTÍNEZ GRAÑA

Sociedad de Ciencias de Galicia. Pontevedra. España

En Abril de este año 2013, año del Agua, se ha publicado por la prestigiosa editorial Springer, el volumen del libro *Management of Water Resources in Protected Areas*, (<http://www.springer.com/earth+sciences+and+geography/hydrogeology/book/978-3-642-16329-6>), dentro de la serie *Environmental Earth Sciences*. Constituye un análisis integral de la gestión de los problemas hídricos en Espacios Naturales. Los editores: Farfán González, H.; Corvea Porras, J. L.; de Bustamente Gutiérrez, I.; LaMoreaux, J.W., presentan una gran experiencia en gestión hídrica de espacios naturales.

Este libro analiza una amplia variedad de temas sobre el agua, desde los aspectos del impacto humano y los riesgos hidrológicos (inundabilidad, contaminación...) a la correcta gestión hidráulica como piedra angular de la conservación de espacios. Los ecosistemas naturales son muy dependientes del agua, ya que son esenciales para el desarrollo de la vida. La ecología y el paisaje juegan un papel importante en la calidad y disponibilidad de agua. No es casualidad que los fenómenos hidrológicos excepcionales se encuentran en áreas protegidas. Tal es el caso, por ejemplo, las ocurrencias geotérmicas (principalmente, géiseres) en el Parque Nacional Yellowstone de Estados Unidos, el parque más antiguo del mundo, las Cataratas de Iguazú (en la frontera de Argentina y Brasil), o la Ciénaga de Zapata (el mayor de su tipo en la isla caribeña de Cuba). Los humedales protegidos por el convenio Ramsar en nuestro país constituyen pruebas evidentes de la dependencia de los ecosistemas en el agua. Sin embargo, en muchos casos, se ignoran las estrategias de conservación de los recursos hídricos en las áreas protegidas, o no se les presta la atención que requieren. Hay muchos tipos de estrategias de gestión adecuadas para la planificación y la protección de nuestro valioso tesoro hídrico. La gestión de los recursos hidráulicos en las áreas protegidas es algo que no debe ser separado de estas medidas de conservación.

Las contribuciones de este volumen agrupan siete grandes temas: depuración y reutilización de aguas residuales en las comunidades rurales; impacto del uso público sobre los recursos hídricos, la vulnerabilidad y los riesgos asociados con los acuíferos, proyectos y gestión de recursos hídricos en las áreas protegidas, la investigación y el seguimiento de los recursos hídricos en las áreas protegidas, el agua y su importancia como fuente de energía renovable en los espacios protegidos, y geodiversidad y la conservación de las áreas con patrimonio hidráulico.

El autor de esta reseña ha escrito el capítulo 5: “Environmental Impact of Human Activities on Water Resources and its Characterization for management and planning of Natural Areas: Las Batuecas y Quilamas”, en el que se describe como valorar y cuantificar los impactos de

las diferentes actividades antrópicas sobre el agua, con la finalidad de su protección y conservación; el capítulo 13: “Flood Hazard Mapping of the Yeltes river Basin for Planning of natural Spaces Las Batuecas and Quilamas and their area of influence” en el que se expone una metodología para cuantificar y establecer espacialmente los riesgos de inundación por los cauces fluviales en las llanuras de inundación, actualmente muy influenciadas por la actividad humana.

Constituye un libro que, aunque escrito en inglés, es una obra asequible y recomendable por su sencillez y fácil entendimiento.

PATRIMONIO INMATERIAL: EL REVERSO DE LOS ESPACIOS NATURALES ROTEGIDOS

Gonzalo PUERTO

Xunta de Galicia. Parque Natural do Monte Aloia. Tui, Pontevedra. España

Actividad humana y naturaleza

Es bastante usual que, a la hora de considerar un espacio natural protegido, nos centremos en lo que puede ofrecer en cuanto a biodiversidad y paisaje. Sin duda es lo más llamativo, y por supuesto también estos valores son los que determinan su declaración como tal, pero existe un reverso de la moneda, que no por poco conocido es menos valioso, que corresponde a aquellos valores intrínsecos a la relación humana con el espacio. Son la historia de los grupos sociales que han permanecido en el espacio desde tiempos inmemoriales, su cultura, sus tradiciones, sus obras, su propia integración en el territorio que les ha dado alimentación y acogida.

La propia definición de espacio natural protegido, por ejemplo tal y como la recoge la ley gallega de conservación de la naturaleza (Xunta de Galicia, 2001 b), contiene este factor humano: “Definense como espacios naturales protegidos aquellos espacios que contengan elementos o sistemas naturales de particular valor, interés o singularidad, tanto debidos a la acción y evolución de la naturaleza como derivados de la actividad humana, y que fuesen declarados como tales”. Reconoce, por lo tanto, que en no pocos casos la actuación humana ha ido perfilando la propia naturaleza que se pretende proteger.

La actividad humana se ha traducido en las actuaciones del día a día, pero también en aquellas que han dejado huellas en el tiempo, como pueden ser las relacionadas con las costumbres, tradiciones, incluso los asentamientos y las construcciones funcionales que se han ido edificando con el paso de los siglos.

De este vasto patrimonio, el intangible, que se ha dado en llamar patrimonio inmaterial, ha sido durante muchos años ignorado en la planificación y gestión de los espacios naturales protegidos, lo que es a todas luces un contrasentido. Pero las cosas están cambiando, y la importancia del patrimonio inmaterial está tomando carta de naturaleza en la consideración global de estos espacios. Al fin, y aunque haya sido poco a poco, nos hemos ido dando cuenta de que la moneda tiene reverso.

Aunque ya a finales del siglo pasado se tomó conciencia del papel de este patrimonio en la conservación de la biodiversidad (Posey, 1999), fue a partir del Congreso de UICN en Durban (Sudáfrica) en 2003, y particularmente en España desde 2006, cuando surgieron decididas iniciativas para considerarlo como parte fundamental de ella. Si bien en los congresos de EUROPARC-España celebrados en 2005 y 2006 se incluyó entre sus mesas de trabajo este tema, fue en la reunión de la “Iniciativa Delos” de la Comisión Mundial de Áreas Protegidas

de la UICN celebrada al siguiente año en la montaña de Montserrat (Barcelona) (Mallarach y Papayannis, 2006), lugar altamente relacionado con los valores espirituales, cuando tomó impulso definitivo.

En cualquier caso, y teniendo siempre en cuenta la intervención de las comunidades que viven en los territorios, no debemos olvidar que también se trata de que en un espacio natural protegido, y éste es uno de sus objetivos básicos reconocidos, la gestión para la conservación de la biodiversidad no debe suponer una limitación al desarrollo armonioso social, cultural y económico de esas comunidades, sino un instrumento para la mejora de su nivel y calidad de vida.

Se ignora también muchas veces que las leyendas y tradiciones, las costumbres ancestrales, la historia que envuelve algunos lugares, han sido el germen de la conservación y protección de muchos espacios. Un caso cercano y conocido por todos es el de la también montaña de Covadonga (Asturias), origen del actual parque nacional.

Estos lugares sagrados, precisamente por sus características espirituales o religiosas, han estado siempre salvaguardados de la intervención humana negativa, siendo lugares encuadrados en paisajes de enorme belleza y albergando una biodiversidad apenas intocada. Y ello ha conducido, con la visión moderna de la conservación de la naturaleza, a su catalogación e inclusión dentro de una u otra figura legal de protección.

El patrimonio inmaterial

En el extenso estudio que sobre el tema se recoge en el manual editado por EUROPARC-España dentro de su colección de manuales prácticos sobre gestión de espacios naturales protegidos se explica pormenorizadamente la necesidad de considerar patrimonio inmaterial no sólo los valores culturales sino también los valores espirituales asociados al territorio natural. Patrimonio inmaterial y valores culturales y espirituales se pueden entonces considerar términos distintos pero complementarios. El manual concluye que “sobre el uso del término “valores inmateriales” se asume que todos los valores son, por definición, inmateriales, pero que se “asientan” o relacionan con elementos patrimoniales diversos, que pueden ser tangibles o intangibles, y que esta relación no siempre es directa, ni unívoca, ni permanente” (EUROPARC-España, 2012).

Podemos pues entender que el patrimonio inmaterial posible es muy extenso, pues no sólo depende de las propias características del lugar, es decir que haya más o menos elementos valiosos de una forma objetiva, sino también de los grupos sociales que habitan el territorio, que subjetivamente y de forma diferenciada de otros han asentado sus propias creencias y estructuras sociales.

Así, podemos encuadrarlo en alguno de los siguientes grupos: Elementos artísticos (danzas, música, literatura...), estético-perceptuales o escénicos (belleza, silencio, tranquilidad, armonía...), sociales: históricos, etnológicos y de gobernanza (oficios tradicionales, gastronomía, instituciones tradicionales, fiestas y ferias...), orales y lingüísticos (cuentos, leyendas, refranes, toponimia...), religiosos (santuarios, ceremonias relacionadas con la naturaleza, romerías, peregrinaciones...), y espirituales (elementos naturales considerados sagrados, santos o mágicos, construcciones y monumentos de igual consideración...).

La integración en el todo del espacio natural del patrimonio inmaterial pasa pues por la identificación, valoración y conservación o preservación de estos tipos de valores identitarios, siempre con el respeto y consideración que merecen. Ha de evitarse la confusión que provoca el efecto llamada falso, la deriva en “neocelebraciones” que nada tengan que ver con la realidad original, lo que a veces sucede con el peligro de desfiguración o incluso eliminación del acervo cultural y espiritual que ello conlleva. Tal es el caso de algunas fiestas populares actuales que ya ni recuerdan remotamente su justificación primigenia.

El ejemplo del monte Aloia

Un ejemplo de un espacio natural protegido donde podemos encontrar una variada muestra de elementos de patrimonio inmaterial es el monte Aloia, en Tui. Veamos a continuación, sin la rigidez de la tipología precedente, algunos de ellos.

El monte Aloia está catalogado actualmente como parque natural, el decano de su categoría en Galicia, pero ya desde principios del siglo pasado fue objeto de protección. Concretamente, su zona más elevada, el alto de San Xiao (San Julián), donde reside buena parte del rico patrimonio, tanto arqueológico como inmaterial, del espacio.

En el alto de San Xiao podemos encontrar el santuario de la Virgen de las Angustias, edificado sobre una antigua capilla románica y se supone que anteriores asentamientos religiosos, la muralla ciclópea (Bien de Interés Cultural), la gran Cruz Jubilar, la *Cama do Santo* y algunos elementos arqueológicos diversos de innegable valor. Algunos de ellos llevan asociados historias y leyendas, confundiendo entonces la realidad construida con la imaginación y las tradiciones populares.

La muralla ciclópea, que los eruditos sitúan entre los siglos V y IX, es una fortificación que rodea perimetralmente la cumbre del monte en una longitud de algo más de 3 km. Es, por lo tanto, la más larga de Galicia. Muy deteriorada por el paso de los siglos, en su zona mejor conservada tiene una anchura de 2'5 m a 3'5 m, y una altura que alcanza los 3 m (Garrido, 2001). A este indudable valor material se une el que la leyenda la sitúa como defensora del monte Medulio, donde los tudenses se refugiaron ante la ofensiva de la invasión romana, y otras posteriormente acaecidas. Está constatado que con motivo de una invasión normanda los tudenses también se refugiaron en el monte Aloia llevando consigo, entre otras, reliquias de San Xiao. Parece que las reliquias fueron escondidas, sin que se hayan encontrado hasta la fecha. Estos encuentros entre tudenses e invasores debieron ser en ocasiones cruentos, pues también se dice que “si el Santo Padre estrujara entre sus manos tierra del monte Aloia, ésta destilaría sangre”.

Algunos investigadores se han apoyado en textos antiguos para confirmar la veracidad de la ubicación del monte Medulio en el monte Aloia, pero hay quien sostiene que tal monte estaba en el Bierzo o incluso en Asturias. Sea cierta esta historia numantina o no, el caso es que la muralla es una realidad profundamente enraizada en la cultura e imaginaria popular tudense.

También la cumbre de San Xiao acoge otras tradiciones relacionadas con la realidad popular, como son, o eran, pues su localización se ha perdido, las relacionadas con las piedras del Sol y del Agua, adonde se acudía en procesión desde Tui para pedir las lluvias o su cese, según la época fuera de fuerte sequía o de exceso de precipitaciones. La piedra del Agua estaba orientada hacia el mar, y la del Sol hacia levante. Hoy en día, tal vez como reminiscencia de

aquellas, se celebra una multitudinaria romería el primer domingo de julio, en honor de la Virgen de las Angustias que se venera, junto con San Xiao, en el santuario del monte Aloia.

Elemento muy interesante de la zona es así mismo la denominada *Cama do Santo*. Es éste un bloque de piedra granítica horadado en forma de pequeña cavidad a ras del suelo, “donde nunca crece la hierba”, en el cual se dice que dormía el eremita San Julián durante su estancia en el monte Aloia.

Y hay que reseñar también las yeguas del monte, de las que se dice que por su fortaleza eran exportadas a la Roma imperial, que “eran fecundadas por el viento”. Se supone que se trataba de animales de la raza actualmente revalorizada de *poni* gallego, prácticamente desaparecidos hoy del monte aunque se conservan en localizaciones próximas.

Naturalmente, tratándose de un lugar boscoso y mágico de Galicia, no podía faltar la presencia en el monte Aloia de la Santa Compañía. En la toponimia queda la denominación de uno de los senderos que lo atraviesa como *Camiño das Estantigas*, otra forma de denominar el espeluznante cortejo de almas en pena.

Los mayores del lugar también citan, como ser sobrenatural poblador del monte y sus alrededores, el *Tardo*. Es éste un espíritu burlón y bromista, nunca agresivo, que se manifiesta frecuentemente en forma de animal (Romero, 2002), y se dedica de noche a hacer ruido, mover tejas en las edificaciones, o a entorpecer los trabajos (las *muiñadas*) en los molinos. Los lugareños, al recogerse en sus casas al caer la noche, dejaban en el suelo granos de maíz, y si el *Tardo* aparecía se entretenía entonces en contarlos, equivocándose y comenzando de nuevo la cuenta una y otra vez, olvidándose así de sus enredos.

Integración en los instrumentos de planificación

Para que la conservación del patrimonio se realice con garantías en un espacio protegido es preciso que, de forma normativa, se recoja en los instrumentos de planificación y gestión que rigen dichas áreas naturales. Muchos de ellos, sobre todo en el caso de los espacios naturales protegidos declarados hace años, no contemplan la existencia del patrimonio inmaterial en sus recomendaciones y normas. Pero esto es algo que ya casi está superado actualmente, porque la conciencia de su importancia es algo que ya nadie discute.

Decíamos más arriba que en no pocas ocasiones esa existencia de costumbres y tradiciones, ese carácter de “sagrado” de ciertos espacios, son los que han posibilitado su grado de conservación natural actual. En ocasiones incluso con severas limitaciones al uso público.

La teoría moderna de conservación de los espacios naturales protegidos fundamenta ésta en hacer compatible esa conservación de la biodiversidad con el uso público ordenado y el desarrollo económico y social sostenible. Y ello, por supuesto, con la intervención real de las poblaciones que habitan en sus entornos en la propia gestión del territorio. Es evidente que esa gobernanza es imprescindible para la conservación de territorios que tienen dueño y que son lo que son gracias a la intervención continuada de sus habitantes. La cultura popular es pues también parte integrante de la conservación.

Volviendo al caso del monte Aloia, sus instrumentos de planificación han sido también sensibles a esta realidad. Así, el plan de ordenación de sus recursos naturales (Xunta de

Galicia, 2001 a) señala como uno de los objetivos de ordenación del parque la conservación de sus recursos culturales y arqueológicos.

Más lejos llega el instrumento puramente normativo del parque, el plan rector de uso y gestión (Xunta de Galicia, 2009), considerando estos valores como objetivos específicos de conservación del parque y su zona de influencia socioeconómica, instando también a desarrollar actividades de promoción y disfrute de esos valores culturales que le son propios, para el enriquecimiento cultural, dice la norma, de la Sociedad en su conjunto.

Integrando los valores inmateriales en la gestión del espacio se busca, por lo tanto, preservar el patrimonio cultural, arqueológico y paleontológico de forma beneficiosa par la Sociedad en general. Y, por supuesto, podemos añadir, para preservar la propia identidad como pueblo de los habitantes del espacio y su entorno.

Referencias

- EUROPARC-España. 2012. El patrimonio inmaterial: valores culturales y espirituales. Manual para su incorporación en las áreas protegidas. Ed. Fundación Fernando González Bernárdez. Madrid, España.
- Garrido J. 2001. Fortalezas de la antigua provincia de Tui. Diputación Provincial de Pontevedra. Vigo, España.
- Mallarach J. M., Papayannis T. (Eds.). 2006. Protected Areas and Spirituality. Proceedings of the First Workshop of the Delos Initiative. IUCN-PAM. Sant Joan les Fonts.
- Posey D. A. (Ed). 1999. Cultural and Spiritual Values of Biodiversity. UNEP. London, UK.
- Romero A. 2002. Dende o Monte Aloia. Ed Alberto Romer. Vigo, España.
- Xunta de Galicia. 2001. Consellería de Medio Ambiente. Decreto 274/2001, do 27 de setembro, polo que se aproba o Plan de Ordenación dos Recursos Naturais do Parque Natural do Monte Aloia. D.O.G. nº 205 do 23 de outubro de 2001.
- Xunta de Galicia. 2001. Consellería de Medio Ambiente. Lei 9/2001, do 21 de agosto, de conservación da natureza. D.O.G. nº 171 do 4 de setembro de 2001.
- Xunta de Galicia. 2009. Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible. Decreto 65/2009, do 19 de febreiro, polo que se aproba o Plan reitor de uso e xestión do parque natural do Monte Aloia. D.O.G. nº 62 do 31 de marzo de 2009.

OPINIÓN OPINIION

LA INNOVACIÓN NO ES UNA ACTIVIDAD

Enrique MANDADO

Catedrático de Tecnología Electrónica. Universidad de Vigo. Vigo. España.
Vicepresidente de APROTEGA.

La innovación no es una actividad mientras que si lo son la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Por eso cuando se tiene éxito en el mercado y se alcanza la innovación es cuando se logra el retorno de la inversión realizada en investigación científica (si fue necesario hacerla) y en desarrollo tecnológico (siempre imprescindible). Lo diga quien lo diga la innovación no se hace sino que en todo caso se consigue y no se puede conseguir sin hacer desarrollo tecnológico, que a veces se combina con la investigación científica aunque no siempre.

Los políticos, ya sean del gobierno o de la oposición, deberían explicar claramente a los españoles que la innovación no es una actividad sino el resultado del desarrollo tecnológico bien hecho que se traduce en productos en el mercado que tienen éxito porque los compra mucha gente. Para que los españoles se den cuenta de nuestro subdesarrollo tecnológico solo tienen que darse una vuelta por un hospital y comprobar que los aparatos españoles brillan por su ausencia. España es un país poco innovador porque nunca ha desarrollado un número suficiente de productos propios y sin productos no puede haber innovación. La innovación en procesos y servicios adquiere su verdadero valor si se logra con productos propios y no con productos ajenos como sucede de forma generalizada en España. De todo ello se deduce que lo que nos puede preparar a los españoles para superar la crisis profunda en la que nos encontramos actualmente no es la innovación sino el desarrollo tecnológico porque sin él es imposible que se alcance aquella por mucha Ciencia que se haga.

Leyendo cualquiera de los libros publicados sobre historia de la Técnica se ve claramente que los países que están en el siglo XXI a la cabeza del mundo en Economía, y cuyo paro no supera en la actualidad el 10%, desarrollaron productos durante los siglos XVIII y XIX y la primera mitad del XX, cuando el conocimiento científico era muy incipiente, y fue con el dinero que ganaron con dicho desarrollo y al darse cuenta de que el rendimiento que obtenían era insuficiente, cuando dedicaron parte de las ganancias a impulsar la investigación científica y no al revés. Los países que comenzaron desarrollando productos con poco conocimiento científico y venden hoy productos con tecnología propia, como por ejemplo Holanda o Alemania, no tienen el problema de paro que tenemos los españoles.

Para cambiar de modelo productivo España tiene que distinguir la Política Científica de la Tecnológica. Para que nuestro esfuerzo en I+D se transforme en riqueza y empleo hay que impulsar tanto o más el desarrollo tecnológico (D) que la investigación científica (I). A los científicos se le puede valorar por las publicaciones pero si España continúa haciendo lo mismo con los ingenieros que trabajan en la Universidad, en lugar de valorarlos por los prototipos que desarrollan y los productos españoles que contribuyen a poner en el mercado, seguirá siendo un país subdesarrollado tecnológica y económicamente.

Cabe recordar que aunque en el lustro comprendido entre 2005 y 2009 España invirtió en I+D más que en los 12 años anteriores, y por ello somos el noveno país del mundo en producción científica, en competitividad no hemos mejorado nada y estamos por encima del puesto 30. Lo que parece estar claro es que algo habría que cambiar porque lo que se ha hecho hasta ahora no ha dado los resultados apetecidos. ¿Alguien podría explicar, por ejemplo, por qué no se hace una convocatoria de proyectos de desarrollo tecnológico que prime el desarrollo de productos españoles, separada de la de proyectos de investigación científica?. No estaría mal tener un debate nacional sobre el tema.

Aunque pueda haber casos aislados encomiables, la historia de España es una historia de fracaso colectivo porque graduó muy pocos técnicos (ingenieros) desde mediados del siglo XIX hasta bien entrado el siglo XX, y el resultado de ello es que hoy el número de empresas que basan su estrategia en el desarrollo de nuevos productos es claramente insuficiente. España se puede definir como un país de servicios con los productos desarrollados por otros. Nuestras centrales hidroeléctricas están hechas llave en mano por ingleses o suizos, nuestras centrales nucleares son francesas y nuestros automóviles no han sido desarrollados en España. Solo desarrollando productos que eleven las exportaciones y disminuyan las importaciones se cambiará nuestro modelo productivo que hasta ahora ha estado casi basado en un único producto: el ladrillo.

A los españoles hay que explicarles que una empresa tecnológica es una empresa que desarrolla productos, los fabrica y los vende y que cuando tiene éxito invierte en Ciencia para mejorarlos y nunca al revés.

El nivel bajo de nuestra capacidad para asumir riesgos, trabajar en equipo y acometer tareas que necesitan un esfuerzo continuado, y no solo puntual, es lo primero que debemos reconocer los españoles para encarar el futuro con un mínimo de optimismo.

Aunque es cierto que la Ciencia avanza en España, para mejorar nuestra balanza de pagos, elevar nuestra productividad y disminuir nuestro nivel de paro hay que hacer avanzar también la Tecnología. Solo así, se crearán empresas basadas en el conocimiento tecnológico y en el científico, se mejorará el nivel de las ya existentes, se alcanzará la Innovación y se dispondrá de más recursos para impulsar a su vez la Ciencia.

EL IDIOMA ESPAÑOL, EL INGLÉS Y LA TECNOLOGÍA

Enrique MANDADO

Catedrático de Tecnología Electrónica. Universidad de Vigo. Vigo. España.

La influencia de la Tecnología en el idioma español es algo de lo que pocos dudan, aunque quizás también sean pocos los que estén preocupados por ello, pero la falta de aprecio por la lengua de Cervantes, aunque su célebre novela sea conocida por casi todos los que lo hablamos cotidianamente, está alcanzando límites que hacen que no se pueda ser muy optimista en relación con su futuro.

Técnica, Tecnología y lenguaje

Antes de nada cabe preguntarse ¿Qué tienen que ver la Técnica y la Tecnología con el lenguaje?.

Para comprenderlo, es conveniente en primer lugar definir lo que se entiende por Técnica cuyo origen se pierde en la noche de los tiempos porque los primeros pobladores de nuestro planeta que cogieron una piedra para realizar un hoyo en la tierra o que utilizaron las ramas de un árbol para fabricar una lanza, estaban ya haciendo uso de ella. La Técnica es anterior a la Ciencia y a la Economía, y, comenzó realmente cuando el ser humano se encontró solo frente a la naturaleza.

Quizás sea Ortega el que mejor define la Técnica, cuando escribe: “La Técnica es la reforma que el hombre impone a la naturaleza en vista de la satisfacción de sus necesidades. La Técnica es lo contrario de la adaptación del sujeto al medio, puesto que es la adaptación del medio al sujeto. Esta reacción contra su contorno, este no resignarse contentándose con lo que el mundo es, es lo específico del hombre. Por eso, aun estudiado zoológicamente, se reconoce su presencia cuando se encuentra la naturaleza deformada, por ejemplo cuando se encuentran piedras labradas, con pulimento o sin él, es decir utensilios. El hombre sin Técnica, es decir, sin reacción contra el medio no es un hombre”.

Pero a pesar de la afirmación de Ortega, la Técnica no fue valorada por igual por todas las comunidades que poblaron la tierra y mientras unos países incentivaron la dedicación al desarrollo de la misma por parte de sus miembros, otros se dedicaron a comprarle a los primeros los aparatos que fueron desarrollando.

Ya desde el principio de la Técnica se pudo constatar su influencia en el lenguaje porque los que crearon un aparato le dieron un nombre en su idioma que en muchos casos resultó difícil de traducir, pero, la influencia de los primeros resultados de las actividades técnicas en las lenguas no fue significativa.

Las cosas comenzaron a cambiar cuando las empresas creadas por los técnicos se dieron cuenta durante los siglos XVII y XVIII de que el rendimiento de los productos que obtenían era insuficiente, debido a que no conocían bien las leyes de los fenómenos físicos que utilizaban. Fue entonces cuando dedicaron parte de las ganancias a impulsar la investigación que denominamos científica y con la Ciencia (que se puede definir como el conjunto de hipótesis, teorías, leyes y principios que permiten la comprensión y medición de los fenómenos de la naturaleza) se sistematizó la Técnica y se crearon nuevos vocablos en la

lengua de los que la impulsaron. La combinación de la Técnica y la Ciencia dio lugar a una nueva área del conocimiento humano que se denominó Tecnología que, aunque debido a su complejidad admite varias definiciones, se puede considerar como el resultado de la evolución de la Técnica mediante la aplicación de métodos sistemáticos desarrollados a partir del conocimiento científico.

Diversas naciones, sobre todo del norte de Europa, fueron las que realizaron el esfuerzo primero técnico y después tecnológico pero entre todas ellas destacó siempre el Reino Unido por sus dimensiones y por su carácter pragmático. Los ingleses fueron además los que mejor aplicaron el criterio de “Divide y vencerás” y lograron establecer unas colonias (la India fue una colonia inglesa hasta 1945) que les sirvieron, entre otras cosas, para experimentar los productos de la Técnica y mejorarlos. Fue así como poco a poco el inglés se fue convirtiendo en la lengua franca que es hoy en día, a lo que contribuyó también el hecho de que muchos países del norte de Europa como por ejemplo Suecia y Holanda, que también valoraron siempre la Técnica, adoptasen el inglés como segunda lengua.

Por otra parte otros países como España, que no hicieron el esfuerzo técnico, y como resultado de ello tampoco el científico, lograron que su lengua se extendiese en el mundo y comenzaron a importar términos que al principio, como se indica anteriormente, tuvieron una influencia limitada porque las diferentes tecnologías tenían aplicaciones también limitadas en la vida diaria. Las cosas han comenzado a cambiar con las Tecnologías de la Información (mal llamadas por algunos Nuevas Tecnologías porque se puede considerar su nacimiento a finales del siglo XIX) que, como su nombre indica, están íntimamente relacionadas con todas las actividades del ser humano.

Varias anécdotas reales y una fechada a mediados del siglo XXI, pueden ilustrar al lector sobre lo que va camino de pasarle a nuestra lengua que, aunque a veces parezca que algunos no se lo creen, es la mayor riqueza que tenemos en común todos los que la hablamos.

Anécdota de un profesor español en la década de 1980

Un profesor de una Escuela de Ingenieros española realizó a principios de la década de 1980 una estancia en una universidad de EE UU y durante ella trabajó con un determinado terminal periférico conectado a un computador de la época, denominado minicomputador porque era más pequeño que los utilizados anteriormente, gracias a los nuevos circuitos integrados digitales.

De regreso a España decidió ponerse en contacto con la delegación de la empresa fabricante del terminal y en un viaje a Madrid se entrevistó con el responsable comercial de ese tipo de productos. La conversación mantenida no tuvo desperdicio. El profesor le dijo que estaba interesado en adquirir el terminal que había utilizado en EE.UU. Ese producto no es “marquetable” (comercializable) por sí mismo fue la respuesta que recibió y al ver la cara de perplejidad que puso, su interlocutor le aclaró enseguida que era un terminal de computador que no se vendía por separado sino que se vendía con determinados tipos de minicomputadores.

La conversación continuó para conocer los computadores con los que se podía comprar el citado terminal y los sistemas operativos y lenguajes de alto nivel que utilizaban. En un momento de la conversación el citado responsable comercial le dijo: “Ahora mismo le facilito un ejemplar del manual del sistema operativo” y a continuación llamó a la secretaria y le dijo:

“María, por favor, puede usted traerme la última “rilís” (versión) del sistema operativo del minicomputador X”.

El profesor se fue de la empresa, convencido de que las Tecnologías de la Información estaban creando un nuevo idioma, que algunos ya denominaban “espanglis”, y que el futuro del español no lo veía claro del todo.

Pero realmente la cosa no había hecho más que empezar porque las Tecnologías de la Información estaban realmente en sus albores y, aunque ya se decía fútbol (adaptación al español de *football*) en lugar de balompié, waterpolo en lugar de polo acuático (adaptación al español de *waterpole*) y chequeo (adaptación al español de *checking*) en lugar de prueba, todavía se decía biblioteca (en inglés *library*) en lugar de librería, requisito (en inglés *requirement*) en lugar de requerimiento y quitar (en inglés *remove*) en lugar de remover.

De hacia dónde camina el español si nadie lo remedia puede sacar de dudas al lector la siguiente historia de un cantamañanas español, fechada en el 2060.

Historia de un cantamañanas (*Morning-singer*) español del siglo XXI

Juan Gómez Pérez, consultor de “Enrique Consultores” (EC), fue detenido ayer en las oficinas de la empresa por desafiar a los directivos, al hablar en repetidas ocasiones en un correcto español mientras desempeñaba su labor profesional, según consta en la denuncia presentada en la comisaría más cercana a la empresa.

El detenido, según los testigos, había provocado diversas escenas de terror lingüístico entre sus compañeros. Los problemas comenzaron en abril, cuando Gómez Pérez llegó a la empresa e insistió en poner “Jefe de producto” en su tarjeta de visita, en lugar de “*Product Manager*” como aparecía en las de sus compañeros.

Desde el primer día nos extrañó su actitud, comentó el “*Account Manager*” (Director de cuentas) de EC, pero nunca creímos que pudiera reaccionar con la violencia verbal con la que se despachó después.

Un mes más tarde, durante la presentación del catálogo comercial de la empresa, y ante los atónitos ojos de sus compañeros, horrorizados según su propio testimonio, Gómez Pérez proyectó sobre una pantalla varias diapositivas o láminas que mostraban diversos rótulos llenos de palabras como por ejemplo mercados, objetivos, patrocinadores, etc. mientras comentaba en voz alta las cifras de la empresa.

“El catálogo de la empresa había sido manipulado”, aseguró el “*Managing Director*” (Director General). ¿Cómo se pudo atrever a sustituir “*markets*”, “*targets*”, “*inputs*”, “*slides*” y “*sponsors*”, entre otras palabras, por mercados, objetivos, entradas, diapositivas y patrocinadores?, continuó diciendo.

El resultado fue que no entendíamos nada de la presentación lo que generó el desconcierto general. Además, y según consta en la denuncia, el detenido había cambiado también las palabras “*outsourcing*”, “*finances*” y “*transactions*” por subcontratación, finanzas y transacciones respectivamente, y se había quedado tan ancho. “Hasta ahí podíamos llegar”, comentó indignado el responsable de EC.

Gómez Pérez no pudo terminar su presentación, porque fue reducido por dos compañeros de la empresa, el “*Phone&Door Manager*” (Recepcionista) y el “*Security Surveillance Officer*” (Vigilante jurado) y maniatado hasta la llegada de la policía municipal, que puso al consultor a disposición judicial. Lo ha hecho para provocar, comentaba ayer un consultor de EC, refiriéndose a la actitud de Gómez Pérez.

¿Quién se cree que es?, ¿un *Vicepresident* (Subdirector)? No se puede ser tan hortera, concluyó el “*Manager's Ball*” (Pelota del director). “Se trata de un “*mornin-singuer*” (Cantamañanas) remachó en un perfecto espanglis”.

Pero aunque esta anécdota puede parecer un poco esperpéntica y que está muy bien para contarla como un chiste en una reunión entre amigos, la realidad va caminando poco a poco en esa dirección como intentaremos demostrar mediante varios ejemplos a continuación.

Del inglés y su influencia nociva en el español

Para analizar la influencia nociva de la lengua inglesa en el español es conveniente analizar la cultura de los anglosajones, que se pueden definir como uno de los pueblos que mejor distinguió entre Ciencia y Técnica y valoró a los técnicos que, como por ejemplo Edison, desarrollaron nuevos productos, como la lámpara de incandescencia, con escaso conocimiento científico. Y no solo eso sino que, además, los ingleses hicieron evolucionar su idioma para contribuir a la difusión de todo tipo de ingenios y de actividades deportivas ideadas por algunos de los miembros de su comunidad. ¿Y como lo hicieron? Pues utilizando una palabra ya existente para identificar un concepto que se le parecía, sin crear confusión, o uniendo dos palabras ya existentes para crear una única nueva. Un ejemplo que muchos entenderán es el deporte del fútbol (balompié) en el que se le da con el pié (*Foot*) a un balón (*Ball*).

Otro ejemplo de lo anterior es la jerga utilizada en el golf. En ese deporte fue necesario distinguir entre la hierba que rodea al hoyo y la que está alejada del mismo, y al hacerlo con una sola palabra los ingleses demostraron una practicidad fuera de toda duda. La hierba próxima al hoyo tiene que ser muy corta para facilitar la tarea de meter la bola en el hoyo y debido a ello tiene un color verde más intenso que el resto. Por eso decidieron que lo mejor era llamarle “*green*” (verde) a la zona que rodea al hoyo. ¿Y cómo le llamamos, se preguntaron, a la otra hierba que puede ser más alta y como resultado de ello es más oscura y por lo tanto menos verde que la que rodea al hoyo?. Los ingleses encontraron rápidamente la forma de utilizar una sola palabra y le llamaron “*raff*” porque se inclina cuando la mueve el viento. Lo mismo pasa en el fútbol, deporte en el que cuando la pelota sale por detrás de la línea de la portería golpeada por un miembro del equipo defensor hay que lanzar el balón desde la esquina (en inglés *corner*). Los españoles fuimos incapaces de llamarle esquina y tenemos que decir saque de esquina, pero muchos no tuvieron inconveniente en llamarle córner que es la palabra finalmente aceptada por la Real Academia Española de la Lengua.

Es por ello, y por su política colonizadora, que tiene muchos aspectos reprobables, por la que el inglés se convirtió en la lengua franca que todos los habitantes de la tierra debemos conocer independientemente de la profesión que tengamos. Algunos recordamos todavía los intentos baldíos, para crear una lengua original aceptada por todos los habitantes de la tierra como fue el idioma denominado “*Esperanto*”. El empuje del inglés, en el que se desarrollaron la mayoría de los ingenios mecánicos y eléctricos a partir de la máquina de vapor y en especial todos los equipos de las Tecnologías de la Información, hizo que el esperanto se convirtiese en una reliquia que nadie utiliza.

Cuando el avance de la Técnica y de la Tecnología hizo que se tuviese que distinguir entre las diferentes variantes de un concepto muy complejo los ingleses empezaron a tener dificultades para distinguir con una sola palabra una variante de otra y comenzaron a utilizar las siglas.

Del abuso inglés de las siglas y el papanatismo español

La influencia de los términos del golf en nuestra lengua se puede considerar intrascendente, pero el carácter pragmático de los ingleses les hizo ver enseguida que las siglas colonizan y comenzaron a utilizarlas innecesariamente para aumentar su influencia en los clientes de aquellas culturas que, como la española, no solo dijeron “Que inventen ellos” sino que tienen un nivel de aprecio por su lengua que deja mucho que desear.

Un ejemplo claro es el acrónimo LED (*Light Emitting Diode*) que podría ser sustituido perfectamente en inglés por “*Lighting diode*” y traducido por diodo luminiscente. Un día hice la prueba. Fui a una tienda de Electrónica y le dije al empleado: “Quisiera un diodo luminiscente verde” ¿Cómo ha dicho? me contestó con cara de no haber entendido nada. Al ver su cara le dije, “Perdone, un LED verde, por favor” y sin dudarlo se fue a un cajón y me entregó uno. Lo malo es que como este tipo de diodos se utiliza de forma masiva en numerosos productos electrónicos como por ejemplo los teléfonos inteligentes, las agendas electrónicas o los computadores móviles los españoles hemos podido oír, recientemente, que una presentadora de la Televisión Pública Española (RTVE) decía de un determinado tipo de aparato: “Se trata de un aparato de tecnología LED”. Una de las características de las Tecnologías de la Información es, precisamente, que no es una tecnología de expertos sino que todos los seres humanos tienen que utilizarla y ese es el problema para el español.

La traducción directa de los términos ingleses es algo que pone de manifiesto el poco aprecio que los españoles tenemos por la lengua de Cervantes. Una anécdota real que pone en evidencia la influencia excesiva del inglés en el español es la forma de expresarse de la comunidad hispano parlante que reside en EEUU. No es raro que un hispano diga en EEUU, al expresarse en español, “Voy a vacunar la carpeta” en lugar de “Voy a limpiar la alfombra”. Y se preguntará el lector, ¿De dónde sale la citada expresión? Pues la realidad es que constituye una incorrecta traducción del inglés. Como el que conoce un poco de inglés sabe, la alfombra (en inglés *carpet*) se limpia mediante una aspiradora (en inglés *vacuum cleaner*) y por ello el lector no debe tener ningún problema para entender que el que vacuna la carpeta está hablando en espanglis.

La utilización de las palabras *hardware* y *software* que son polisémicas, es decir que tienen varios significados, es otro ejemplo de la influencia nociva del inglés en el español. Según el contexto *hardware* se puede traducir por placa o tarjeta electrónica, sistema físico, circuito electrónico, módulo o periférico y *software* por herramienta informática, paquete informático, programa o rutina. Lo que no se entiende es por qué si no se busca un término adecuado en español, no se hace lo mismo que con el fútbol es decir se escribe “jarvare” y “sofvare”.

De la escritura de textos en español

Se oye a veces decir que los españoles no utilizamos bien nuestro idioma porque leemos poco y el que hace tal afirmación algo de razón tiene. Lo que ocurre es que leer mucho es una condición necesaria pero no suficiente para escribir bien. A escribir se aprende escribiendo, naturalmente después de estudiar bien la gramática española, y por lo que parece, al ver como

escriben en general las nuevas generaciones de bachilleres, esa es una asignatura pendiente en el bachillerato español actual.

Y llegados a este punto el que suscribe, que ha hecho de la escritura de libros técnicos de su especialidad en español una de sus principales áreas de actividad, no puede menos que hacer desde estas líneas un humilde homenaje a una institución educativa y a una editorial con la que mantuvo, y todavía mantiene, una relación que le marcó positivamente, en la que trabajaba un personaje entrañable de esos que hacen poco ruido pero que al que tiene la suerte de conocerlo profesionalmente le dejan una impronta que se mantiene viva con el paso del tiempo.

La institución educativa es los Hermanos Maristas en la que durante los seis años del bachillerato, entre los 10 y los 16 años, de 1950 a 1956, le “obligaron” a escribir una redacción de unas cuantas páginas cada semana en un cuaderno específicamente dedicado a ello. El profesor leía con detenimiento la redacción de sus más de veinte alumnos y se la devolvía corregida en rojo. ¡Qué tiempos aquellos!. El repaso de los cuadernos de redacción era una fuente extraordinaria de sabiduría cuando al alumno le surgía alguna duda.

La editorial es Marcombo y el personaje es Luis Ibáñez Morlán, el corrector de estilo que Marcombo tenía en la nómina de la empresa en la década de 1970 en la que el autor inició su actividad profesional. Lo primero que hay que decir es que Luis Ibáñez era traductor de libros técnicos y el corrector de estilo de Marcombo. Antes de publicar un libro en la editorial había que entregarle un ejemplar para que comprobase la utilización correcta del español y en una posterior entrevista le recomendase al autor los cambios oportunos. Mi paso por el colegio de los Hermanos Maristas, como se indica anteriormente, hizo que las correcciones no fuesen excesivas pero hubo una que todavía recuerdo a pesar del tiempo transcurrido: “En ocasiones no utiliza bien el gerundio” me dijo. ¿Cómo puedo saber si estoy utilizando bien el gerundio?” le pregunté. La respuesta constituye una regla de oro para escribir bien en español: “Utilice solo el gerundio en respuesta a la pregunta ¿De qué manera?. Hay otros casos, pero con esa regla es suficiente para alguien que, como usted, no se dedica profesionalmente a la literatura”. Y me puso un ejemplo: Es correcto decir “Voy andando a casa de mi tía” pero no lo es, “Puede haber varios usuarios compartiendo un mismo programa” sino que se debe decir “Puede haber varios usuarios que comparten un mismo programa”.

El español, el inglés y el gerundio

Probablemente es la incorrecta utilización del gerundio el aspecto en el que la mala influencia del inglés en el español se hace más evidente.

Se puede afirmar, sin lugar a dudas, que la utilización del gerundio es una de las grandes diferencias entre el español y el inglés. Precisamente una de las dificultades mayores que tenemos los que nos expresamos normalmente en español es la utilización correcta del gerundio cuando escribimos un artículo en inglés así como también la utilización correcta del gerundio cuando traducimos al español un artículo escrito en inglés o cuando simplemente escribimos en español.

Lo malo de la correcta traducción de los gerundios ingleses al español es que es diferente según el contexto en el que se utilizan la palabra o palabras en español.

Lo mejor para entenderlo es poner varios ejemplos de frases con gerundios mal utilizados, extraídas de algún periódico español e indicadas en color lila, y a continuación la frase correcta en la que se destacan en amarillo las palabras que sustituyen al gerundio:

Ejemplo 1

El resultado fue que no entendíamos nada de la presentación **provocando** el desconcierto general.

El resultado fue que no entendíamos nada de la presentación **lo que provocó** el desconcierto general.

Ejemplo 2

Tampoco habrá entrado en ningún comercio de venta de equipos informáticos y televisores en España y no habrá comprobado que las marcas españolas brillan por su ausencia casi en su totalidad, **siendo** en su mayoría japonesas.

Tampoco habrá entrado en ningún comercio de venta de equipos informáticos y televisores en España y no habrá comprobado que las marcas españolas brillan por su ausencia casi en su totalidad **y que** la mayoría son japonesas.

Ejemplo 3

Sería conveniente que el director fuese un tecnólogo, con dedicación exclusiva a la Universidad, **trabajando** en equipo con otro perteneciente a la empresa.

Sería conveniente que el director fuese un tecnólogo, con dedicación exclusiva a la Universidad, **que trabajase** en equipo con otro perteneciente a la empresa.

Ejemplo 4

Los teléfonos móviles están dando lugar a una nueva generación de aplicaciones en todo tipo de situaciones, **conociéndose**, dentro del entorno educativo, como aplicaciones de aprendizaje móvil.

Los teléfonos móviles están dando lugar a una nueva generación de aplicaciones en todo tipo de situaciones, **que se conocen**, dentro del entorno educativo, como aplicaciones de aprendizaje móvil.

Ejemplo 5

Según datos del Instituto Nacional de Estadística, la tasa de criminalidad española es una de las más bajas de la Unión Europea, **siendo** el número de presos por habitante el mayor de la Unión.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística, la tasa de criminalidad española es una de las más bajas de la Unión Europea, **aunque** el número de presos por habitante **es** el mayor de la Unión.

Ejemplo 6

No parece que vaya a tener un futuro mucho peor el gobernador actual, que ha visto **a** algunos de sus supervisados **repartiéndose** millonarias compensaciones mientras llevaban a sus entidades a la ruina y forzaban la inyección en ellas de dinero público.

No parece que vaya a tener un futuro mucho peor el gobernador actual, que ha visto **como** algunos de sus supervisados **se repartían** millonarias compensaciones mientras llevaban a sus entidades a la ruina y forzaban la inyección en ellas de dinero público.

Ejemplo 7

La cirugía de la catarata es hoy uno de los procedimientos más seguros y con mejores resultados, con millones de personas **mejorando** su visión en todo el mundo.

La cirugía de la catarata es hoy uno de los procedimientos más seguros y con mejores resultados, **mediante el cual** millones de personas **mejoran** su visión en todo el mundo.

Además, para comprobar que el mal uso del gerundio en español procede del inglés se recomienda al lector que analice los siguientes ejemplos en los que se presenta una frase en inglés, la traducción incorrecta con gerundio y finalmente la correcta sin gerundio.

Ejemplo 1

The editor did a wonderful job of ensuring consistency and catching typos, including several mistakes that had been overlooked by me.

Traducción incorrecta

El editor realizó un magnífico trabajo para asegurar la consistencia y evitar errores tipográficos, **incluyendo** los que se me escaparon a mí.

Traducción correcta

El editor realizó un magnífico trabajo para asegurar la consistencia y evitar errores tipográficos, **incluidos (o en los que se incluyen)** los que se me escaparon a mí.

Ejemplo 2

This section will give you the tools to predict and eliminate errors, allowing you to design different circuits.

Traducción incorrecta

Este apartado le proporcionará las herramientas para predecir y eliminar errores, **permitiéndole** diseñar circuitos.

Traducción correcta

Este apartado le proporcionará las herramientas para predecir y eliminar errores **y hará que pueda** diseñar diversos circuitos.

Ejemplo 3

Mobile phones are creating a new generation of applications, being known in the education environment as mobile learning.

Traducción incorrecta

Los teléfonos móviles, están dando lugar a una nueva generación de aplicaciones en todo tipo de áreas del conocimiento, **conociéndose**, dentro del entorno educativo, como aplicaciones de aprendizaje móvil.

Traducción correcta

Los teléfonos móviles, están dando lugar a una nueva generación de aplicaciones en todo tipo de áreas del conocimiento, **que se conocen**, dentro del entorno educativo, como aplicaciones de aprendizaje móvil.

Los libros profesionales y el español

Que la utilización de libros es un componente fundamental de la calidad de la enseñanza universitaria es algo que no se debe poner en duda incluso en el siglo XXI.

Los españoles deberíamos vernos un poco más en el espejo de nuestros vecinos los franceses que incentivan la publicación de libros en su lengua y no solo de traducciones de libros escritos originalmente en inglés. Si por algo se puede criticar a los franceses es por su excesivo celo en crear palabras nuevas en francés que se distingan a ultranza de las inglesas.

De ello puede dar fé un español que entró en una gran librería francesa y pidió un libro de “*software*” de comunicaciones. La empleada puso cara de no haber entendido nada y le dijo “*Un moment s’il vous plait*”, y se puso a hacer una llamada por un teléfono próximo. El cliente no pudo dejar de oír que la empleada le decía a su interlocutor “*Ah, oui, c’est logiciel , merci bien*” y se quedó pensativo al comprobar que existía una empleada en una librería técnica francesa que desconocía la palabra “*software*”.

Otra palabra de la que los franceses quisieron huir a ultranza es de la de “*Computer*” y para ello inventaron la de “*Ordinateur*” que muchos traducen al español como ordenador. Olvidan así que “*Computer*” viene del latín “*Computare*” y que la mejor manera de denominar a la citada máquina en una lengua latina, como es el español, es Computador o Computadora. Quizás los franceses se pasan en la defensa a ultranza de su idioma pero los españoles nos pasamos por el otro extremo.

Fomentar la escritura correcta de libros tanto técnicos como científicos en español por expertos en algún área del conocimiento respectivo, es lo mejor que los que lo hablamos podemos hacer para conservar nuestro idioma y por ende para contribuir a mejorar nuestra maltrecha economía, mejorar el nivel de formación de los españoles y evitar que hablen y escriban en espanglis.

NOTICIAS DE LA SOCIEDAD

SOCIETY NEWS

CONCURSO ESCOLAR DE DIBUJO “LA ENERGÍA”

La declaración de 2012 como “Año Internacional de la Energía” por la Asamblea General de Naciones Unidas es una llamada de atención a la importancia que ésta tiene para el mantenimiento del planeta y de las poblaciones que en él vivimos.

La Sociedad de Ciencias de Galicia no ha querido dejar pasar esta efemérides y, pensando que el futuro es preciso basarlo en el presente, creando conciencias positivas de conservación y uso racional de los recursos, organizó un evento cuyo protagonismo recayó en los niños, responsables de ese futuro que se presume difícil y que deberán encarar con criterio y responsabilidad.

En el marco de la Semana de la Ciencia 2011 se celebró un concurso de dibujo que con el tema “La Energía”, que reunió a escolares de entre 6 y 11 años, de más de diversos centros educativos de toda Galicia, con un total de 150 dibujos.

Los dibujos se expusieron en Liceo Casino de Pontevedra entre el 12 y el 16 de noviembre del 2012, y se otorgaron los diplomas y premios en una sesión pública el último día de esa semana. Los premios fueron patrocinados por la Sociedad de Ciencias de Galicia y el Liceo Casino de Pontevedra.

El jurado que falló los premios estuvo compuesto por:

Manuel L. Casalderrey García, vocal de la Junta de Gobierno de la Sociedad de Ciencias de Galicia, como Presidente.

Ana María Martínez Fernández, catedrática del IES Sánchez Cantón.

Serena Santalomazza Carbone, investigadora de la MBG-CSIC.

José Ramón García Mercadillo, artista plástico.

Icía Solano Sabell, vocal de la Junta de Gobierno del Liceo Casino, que actuó como Secretaria.

Los premios que se otorgaron fueron:

Diploma a todos los finalistas de las dos categorías (6-8 años y 9-11 años), con un total de 40.

Primer Premio, consistente en 100 € en material de dibujo o librería, a cada uno de los ganadores de las dos categorías.

Segundo Premio, consistente en 50 € en material de dibujo o librería, a cada uno de los ganadores de las dos categorías.

Hay que reseñar la importante respuesta del público, fundamentalmente escolares participantes y personas de su familia, que llenaron completamente el Salón Noble del Liceo Casino. Un éxito de aceptación y participación que anima a continuar celebrando este tipo de eventos.

PRIMER PREMIO
6-8 años

Javier DOMÍNGUEZ DEL CAMPO
Colegio Doroteas
Pontevedra



SEGUNDO PREMIO
6-8 años

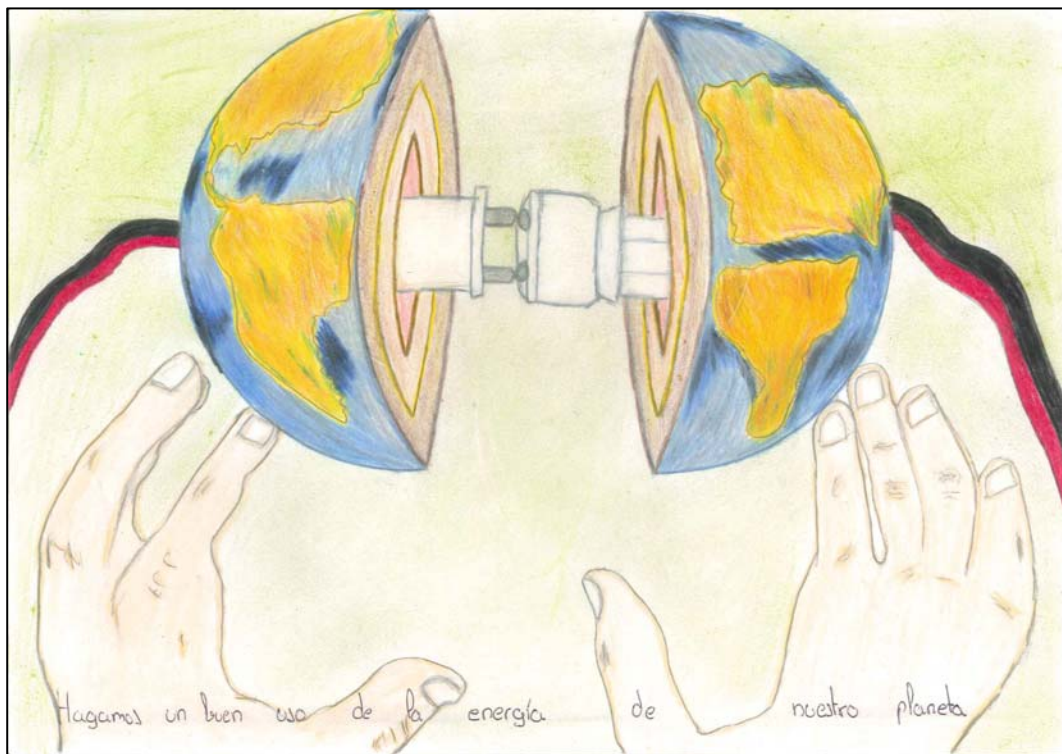
Antía BREA GASCÓN
Colegio Salvador Moreno
Pontevedra



PRIMER PREMIO

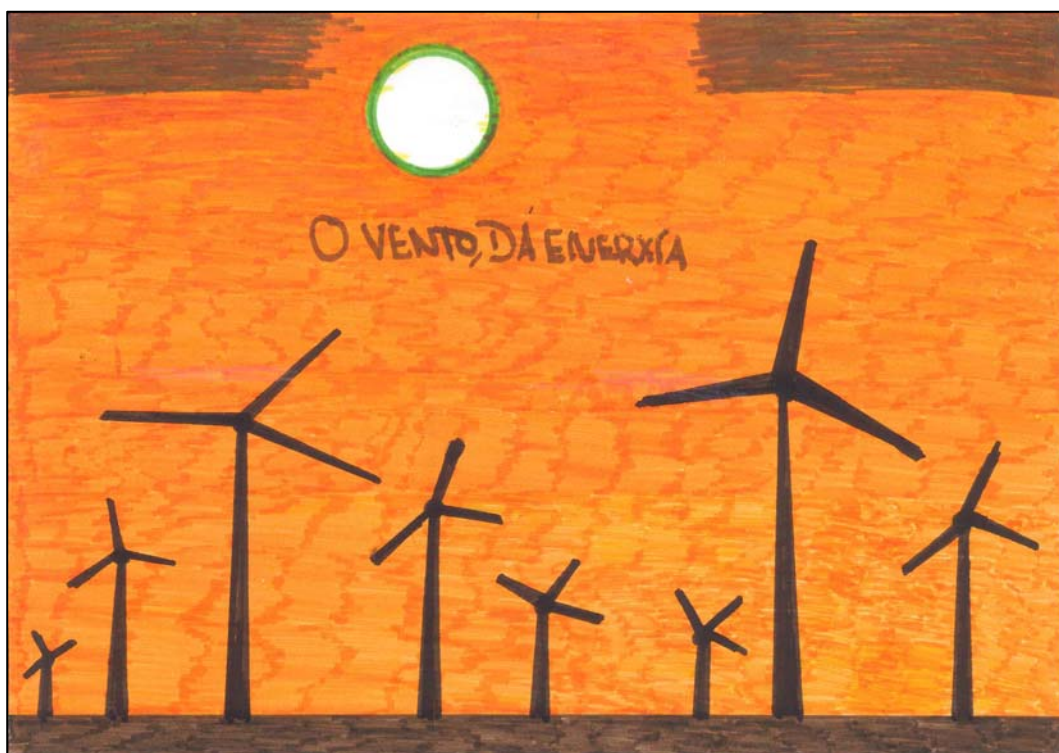
9-11 años

Óscar APONTE SANTA CLARA
Colegio Doroteas
Pontevedra



SEGUNDO PREMIO
9-11 años

Adrián FREIJEIRO LÓPEZ
Colegio Álvarez Limeses
Pontevedra



SEMANA DE LA CIENCIA 2012

Durante los días 12-16 de Noviembre del 2012, la Sociedad de Ciencias de Galicia, la Misión Biológica de Galicia, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (MBG-CSIC) y el Liceo Casino de Pontevedra, celebraron la Semana de la Ciencia 2012, dedicada a “La Energía”. Los actos de la Semana, con entrada libre, tuvieron lugar en las instalaciones de Liceo Casino de Pontevedra.

La Semana se inició el día 12 de Noviembre, con la inauguración de la Exposición de los trabajos presentados al Concurso de dibujo, junto con una Exposición sobre la investigación en bioenergía que realiza la MBG-CSIC. El día 16 de Noviembre, a las 19:00 tuvo lugar una charla didáctica sobre “La Energía”, impartida por el Dr. Manuel-Luis Casalderrey, y a continuación se entregaron los diplomas de Finalistas y los Premios del Concurso, clausurándose las Exposiciones y la Semana de la Ciencia.

SEMANA DE LA CIENCIA 2013

Durante los días 11-15 de Noviembre del 2013, la Sociedad de Ciencias de Galicia, en colaboración con la Misión Biológica de Galicia, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la Estación Fitopatológica do Areeiro, de la Diputación de Pontevedra, y el Liceo Casino de Pontevedra, celebrará la Semana de la Ciencia 2013, dedicada a “El Agua”. Para conmemorar esta Semana, se celebrará el Concurso Escolar de Dibujo “El Agua”, cuyas bases se exponen en esta sección de MOL.

Los actos de la Semana, con entrada libre, tendrán lugar en las instalaciones de Liceo Casino de Pontevedra (c/Manuel Quiroga 21, 36002 Pontevedra), según la siguiente programación:

- 11 de Noviembre: inauguración de la Exposición de los trabajos presentados al Concurso de dibujo, y de la Exposición sobre el agua.
- 14 de Noviembre, 19:00 horas: Mesa Redonda sobre el Agua.
- 15 de Noviembre, 19:00 horas: charla didáctica sobre “El Agua”, impartida por el Dr. José B. Peleteiro (Instituto Español de Oceanografía, Vigo, Sociedad de Ciencias de Galicia). Proclamación de los galardonados en el Concurso Escolar de Dibujo “El Agua”: entrega de los diplomas de Finalistas y de los Premios del Concurso. Clausura de las Exposiciones y de la Semana de la Ciencia.

CONCURSO ESCOLAR DE DIBUJO “EL AGUA”

La Sociedad de Ciencias de Galicia, el Liceo Casino de Pontevedra, la Misión Biológica de Galicia-CSIC, y la Estación Fitopatológica do Areiro-Diputación de Pontevedra, organizan un Concurso escolar de dibujo en el “Año Internacional del Agua” con el objetivo de fomentar en los estudiantes el uso responsable y sostenible del Agua.

BASES

1. Participantes

Escolares, según tres categorías por su edad (años en el día de cierre del plazo de presentación):

6-7 años

8-9 años

10-11 años

2. Temática, técnica y realización de dibujo

La temática de los dibujos será cualquiera relacionada directamente con el Agua. La técnica será totalmente libre, pudiéndose utilizar por ejemplo, acuarelas, ceras, témperas, etc. El dibujo deberá hacerse en cartulina blanca formato DIN A4 y sólo se admitirá un único dibujo por participante. Cada dibujo debe acompañarse de una frase explicativa o eslogan.

3. Inscripción y plazo de entrega de los dibujos

Para poder participar en el concurso será necesario rellenar, en la parte posterior del dibujo los siguientes datos: nombre y apellidos, edad, centro escolar, y datos familiares de contacto (teléfono, dirección, correo-e). Se excluirán del concurso los dibujos que no incluyan todos estos datos, así como aquellos cuyo tema no sea el señalado en las presentes bases.

Los dibujos deberán enviarse, o presentarse, a la siguiente dirección:

Liceo Casino de Pontevedra. Concurso de dibujo “El Agua”
C/Manuel Quiroga 21. 36002 Pontevedra

Los dibujos deberán presentarse, preferentemente, a través de los Centros Escolares, que deberán limitar la participación de sus alumnos a 15 dibujos por cada una de las tres categorías. El plazo de presentación finaliza el día 25 de Octubre del 2013.

4. Proceso de selección y premios

Los dibujos realizados serán cedidos de forma gratuita a la organización del concurso para su exposición en el Liceo Casino de Pontevedra, desde el 11 al 15 de Noviembre del 2013.

El jurado, que valorará los dibujos presentados y otorgará los Premios, estará constituido por:

- un representante de la Sociedad de Ciencias de Galicia
- un representante del Liceo Casino de Pontevedra
- un representante de la Misión Biológica de Galicia
- un representante de Cultura Científica del CSIC
- un representante de la Estación Fitopatológica do Areeiro
- un docente del área de Ciencias
- un artista plástico

El jurado escogerá 15 dibujos finalistas en cada categoría, resolverá cualquier incidencia que pueda producirse y su decisión será irrevocable. El Liceo Casino informará a los Centros Escolares y/o a los autores de los dibujos que hayan resultado seleccionados como finalistas, los cuales recibirán un Diploma acreditativo. Dentro de los finalistas se adjudicarán un Primer y Segundo Premio en cada categoría. Los finalistas y los premiados se harán públicos, y se entregarán los Diplomas y Premios respectivos, el día 15 de Noviembre del 2013 en el Liceo Casino de Pontevedra, a partir de las 19:00 horas, en un acto celebrado en el marco de la Semana de la Ciencia 2013.

Primer Premio: 100 € en material de dibujo, o librería

Segundo Premio: 50 € en material de dibujo, o librería

Los dibujos premiados se publicarán en la revista MOL, editada digitalmente por la Sociedad de Ciencias de Galicia, y quedarán en propiedad del Liceo Casino de Pontevedra. Mediante la aceptación de las presentes bases se emiten las autorizaciones que resulten necesarias de quien ostente la patria potestad o representación legal de los premiados. Los dibujos no premiados podrán retirarse en el Liceo Casino de Pontevedra, desde el 18 de Noviembre hasta el 20 de Diciembre del 2013.

5. Protección de Datos

Los datos personales facilitados por los concursantes, así como aquellos otros que pudieran ser facilitados durante el desarrollo y realización del concurso, tendrán la única finalidad de la identificación de los mismos y la comunicación de los resultados del concurso a los finalistas. Estos datos serán incorporados a ficheros automatizados que se encuentran bajo la responsabilidad de la Sociedad de Ciencias de Galicia, con las medidas de seguridad establecidas, y no serán cedidos, salvo en los casos previstos en la Ley. De lo cual se informa en cumplimiento del artículo 5 de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de Diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

6. Aceptación de las Bases

Se hace saber a los a los participantes que el hecho de participar en el concurso implica la total aceptación de las presentes bases, así como las decisiones de la organización.

En caso de desacuerdos, serán competentes para conocer los litigios que puedan plantearse, los Juzgados y Tribunales de Pontevedra capital, renunciando expresamente los participantes en este concurso a su propio fuero, de resultar distinto del pactado.

Podrán consultarse las bases del presente concurso en la página web de la Sociedad de Ciencias de Galicia (<http://scg.org.es>).

7. Base final

Las entidades organizadoras no se hacen responsables de cualquier pérdida fortuita que pueda producirse.

Los Premios tienen la consideración de ganancia patrimonial en especie, debiéndose firmar por parte de los representantes legales de los menores que resulten premiados el correspondiente documento acreditativo de la recepción del Premio.

NORMAS PARA AUTORES

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

MOL, como publicación de la Sociedad de Ciencias de Galicia, acepta contribuciones de carácter científico y técnico, para las diferentes secciones. Los trabajos que se presenten a las secciones “ESTUDIOS”, “MISCELÁNEA” y “RESEÑAS” han de ser originales, no habiendo sido publicados anteriormente. La presentación de trabajos para la publicación en **MOL** supone la aceptación, por parte de los autores, de la revisión crítica de los originales y de la adaptación de los trabajos a las presentes Normas para Autores.

Las colaboraciones publicadas reflejan exclusivamente las ideas de sus autores, no siendo compartidas necesariamente por el Comité Editorial de **MOL** y por la Sociedad de Ciencias de Galicia.

Formato y organización del texto

Los trabajos se presentarán, en español o inglés, en soporte informático (en cualquier versión de MS-Word). Podrán incluirse tablas, gráficos y fotografías (preferentemente en formato jpg). El título debe estar escrito en letra Times New Roman, mayúscula y negrita con un tamaño de 14 puntos, dejando a continuación una línea en blanco. El siguiente párrafo debe contener el nombre y primer apellido de los autores (formato: Nombre APELLIDO), separando los distintos autores por punto y coma, y en la línea siguiente el centro o centros de procedencia. El formato del texto será de páginas tamaño A4, escritas con interlineado sencillo y márgenes de 3 cm, con tipo de letra Times New Roman de 12 puntos.

La primera vez que se cite una especie biológica, se debe incluir el nombre científico, escrito en cursiva, no subrayado, y la autoridad. Una vez citado el nombre científico, en el resto del texto puede utilizarse el nombre común de la especie.

Las unidades aceptadas son las del Sistema Internacional de Unidades (Real Decreto 1317/1989, de 27 de octubre, por el que se establece el Sistema Legal de Unidades de Medida, BOE núm. 264, de 3 de noviembre de 1989, con corrección de errores en núm. 21, de 24 de enero de 1990).

La organización del texto, en la sección “ESTUDIOS”, con carácter general, debe ser:

Resumen
Abstract (en inglés)
Introducción
Material y Métodos
Resultados y Discusión
Conclusiones
Agradecimientos
Referencias

Tablas y figuras

El título de una tabla y el texto que la acompañe debe estar en la parte superior de la misma. Las tablas deben estar numeradas consecutivamente y citadas en el texto. Se deben delimitar con líneas continuas la cabecera y el final de la tabla, sin líneas verticales en el cuerpo de la tabla. Las unidades de los datos se deben indicar entre paréntesis en las cabeceras de las columnas. Si se necesitan notas a pie de tabla, se usarán superíndices numéricos para indicarlas.

Las figuras deberán llevar un título y un texto explicativo en la parte inferior de las mismas. Deben estar numeradas consecutivamente y citadas en el texto.

Referencias

Las referencias bibliográficas, que deberán estar citadas en el texto, han de adaptarse a los modelos que siguen:

ARTÍCULO: Autor (es). Año. Título. Revista nº: página inicial-final.

CAPÍTULO DE LIBRO: Autores (es). Año. Título del capítulo. En: Editor (es) Coordinador (es) (Eds/Coords) Título del libro, página inicial-final. Editorial. Edición. Ciudad, país.

LIBRO: Autores (es). Año. Título del libro. Editorial. Edición. Ciudad, país.

El Comité Editorial, apoyado por evaluadores externos, decidirá acerca de la adecuación de los trabajos a la línea editorial de MOL, y hará llegar un informe a los autores, pudiendo sugerir, en su caso, los cambios correspondientes.

Todo tipo de colaboración para MOL debe enviarse a:

Sociedad de Ciencias de Galicia
Coordinador de MOL
info@scg.org.es

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

MOL, as publication of the Science Society of Galicia, accepts scientific and technical contributions to the different sections. The works submitted to the sections "STUDIES", "MISCELLANEOUS" and "REVIEWS" must be original, not having been previously published. The presentation of manuscripts for their publication in **MOL** should be under the acceptance by the authors of the critical review of the originals and the adaptation of the works to the present Instructions for Authors. The contributions presented in English must include a short Spanish summary in the beginning of the main text.

Contributions published reflect only the ideas of their authors, not necessarily be shared by the Editorial Board of **MOL** and the Science Society of Galicia.

Format and organization of the text

Papers will be submitted, in Spanish or English, in electronic form (in any version of MS-Word). They can include tables, graphs and pictures (preferably in jpg format). The title must be written in 14 points capital and bold Times New Roman font, then leaving a blank line. The following paragraph should contain the first name and the surname (format: Name SURNAME) of the authors, separating the different authors by semicolons, and on the next line the affiliation. Text formatting will be A4 pages, single spaced written with 3 cm margins and 12 points Times New Roman font.

The first time you cite a biological species, include the scientific name written in italics, not underlined, and authority. Once cited the scientific name, in the rest of the text can be used the common name of the species.

The units of the International System of Units should be used.

The organization of the text, in the "STUDIES" section, in general, should be:

Abstract
Resumen (in Spanish)
Introduction
Material and Methods
Results and Discussion
Conclusions
Acknowledgements
References

Tables and figures

The title of a table and the accompanying text should be placed on the top of it. Tables should be numbered consecutively and cited in the text. They must be delimited by solid lines and the head and the bottom of the table without vertical lines. Data units should be listed in parentheses in the title of each column. If table footnotes are needed, they should be indicated by numerical superscripts.

Figures should keep title and description in the bottom of them, must be numbered consecutively and cited in the text.

References

The bibliographical references, which must be cited in the text, would be adapted to the models that follow:

ARTICLES: Author (s). Year. Title. Journal Nr: initial-final pages.

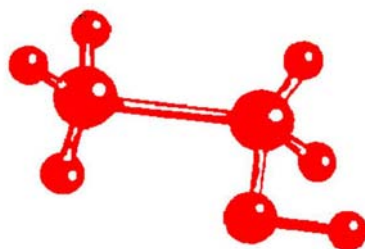
BOOK CHAPTER: Author (s). Year. Title of chapter. In: Editor (s) Coordinator (s) (Eds / Coords) Book title: initial-final pages. Publisher. Edition. City, country

BOOK: Author (s). Year. Book title. Publisher. Edition. City, country.

The Editorial Committee, supported by external referees, will decide on the adequacy of the work to the editorial line of **MOL**, and shall forward a report to the authors that may suggest, when appropriate, the appropriate changes.

All types of collaboration for **MOL** should be sent to:

Science Society of Galicia
MOL Coordinator
info@scg.org.es



Sociedad de Ciencias de Galicia
SCG

Pontevedra
España - Spain