

Unifying Sport Science

NATÀLIA BALAGUÉ SERRE

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya -
Centro de Barcelona (Spain)

CARLOTA TORRENTS MARTÍN

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya -
Centro de Lleida (Spain)

Abstract

Sport is not only a social phenomenon of our world but a privileged field of human and social behavior research. There has been tremendous growth and specialization of sport science over recent decades and this fragmentation process has been challenged with the motif of the 18th Congress of the European College of Sport Science: Unifying Sport Science. The motif seeks to move from specialization to integration, from engineering to a biologically-based conception of living systems, from multi-to transdisciplinary research. A question arises: is it possible to integrate the fragmented areas and facilitate the transfer of theoretical explanatory principles, techniques and insights between disciplines? On the basis of the contributions to the congress, this paper aims to introduce scientific approaches, already widespread in physics, chemistry, biology (including omics) and the social sciences, which focused on the dynamic complex interactions between system components (proteins, cells, organisms, groups, societies), reveal general explanatory principles and contribute to the unification of knowledge. The purpose is to encourage sport scientists to devise new ways of research and try to complement, not replace, the dominant approaches in sport science with the hope that going from the parts to the whole and from the whole to the parts will help scientists to recognize the right paths.

Keywords: integration, sport science, transdisciplinary approach, nonlinear dynamical systems, unified knowledge

Unificar las ciencias del deporte

NATÀLIA BALAGUÉ SERRE

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya -
Centro de Barcelona (España)

CARLOTA TORRENTS MARTÍN

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya -
Centro de Lleida (España)

Resumen

El deporte no es solo un fenómeno social de nuestro mundo, sino que también es un campo privilegiado para el estudio del comportamiento social y humano. Durante las últimas décadas, se ha producido un enorme crecimiento y especialización de las ciencias del deporte y el lema del 18º Congreso del European College of Sport Sciences (ECSS) “Unificar las ciencias del deporte” representa desafiar este proceso de fragmentación. El lema conlleva un cambio de la especialización a la integración, de una concepción de los sistemas vivos basada en la teoría de la información y la ingeniería a una de base biológica, de la investigación multidisciplinaria a la transdisciplinaria. Pero aparece una pregunta: ¿es posible integrar las áreas fragmentadas y facilitar la transferencia de los principios explicativos teóricos, técnicas y perspectivas metodológicas entre disciplinas? En el marco de las contribuciones hechas en el congreso, este artículo tiene como objetivo introducir enfoques científicos ya extendidos en los ámbitos de la física, la química, la biología (incluyendo las ómicas) y las ciencias sociales, y que centradas en las interacciones dinámicas complejas de los componentes sistémicos (proteínas, células, organismos, grupos, sociedades), revelan principios explicativos generales que contribuyen a la unificación del conocimiento. Intentamos animar a las personas interesadas en las ciencias del deporte a percibir nuevas formas de investigación y a complementar, sin sustituirlos, los enfoques dominantes, con la esperanza de que ir de las partes al todo y del todo a las partes ayudará a los científicos a reconocer los caminos más adecuados.

Palabras clave: integración, ciencias del deporte, enfoque transdisciplinario, sistemas dinámicos no lineales, conocimiento unificado

The 18th ECSS Congress

Last June the National Institute of Physical Education of Catalonia (INEFC) hosted the 18th edition of the annual congress of the European College of Sport Science (ECSS), a major international event defined by the director of the INEFC, Agustí Boixeda, as “the Champions League” of sport sciences. It will always be very pleasing to look back and remember all those years of preparation and in particular those four intense days, in which our institute spoke so many varieties of English, received so many signs of appreciation and shared the enthusiasm and know-how of so many sport science researchers.

The congress has been defined by the representatives of the ECSS as the congress of records: a record for attendees (3112), submitted abstracts (2452), exhibitors (68), participating countries (75), applicants for the Young Investigators Awards (538), workshops and 10 satellite symposia (organized by different institutions just before or after the congress in the same setting) with more than 500 attendees; in all, the biggest congress in the history of the ECSS! The reader can see the statistics and logistics in the official debrief (www.sport-science.org). But for us the ECSS Barcelona 2013 was overall a unique experience of committed team work.

In the words of Will Hopkins, the official rapporteur of the congress, the conference was an outstanding success by all the usual criteria including the wow factor of the research. During the four days of the event, high-quality research work was presented in plenary sessions, symposia, oral presentations, mini-oral presentations and non-debated e-posters (for scientific reports see Hopkins, 2013). As part of the Young Investigator Awards, young scientists presented the outcomes of their research and the best 10 were awarded in two categories: mini-oral (e-poster) presentations

El 18º Congreso del ECSS

El pasado junio el Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña (INEFC) acogió la 18ª edición del congreso que anualmente organiza el European College of Sport Sciences (ECSS). El director del INEFC, Agustí Boixeda, definió este importante acontecimiento internacional como “la Champions de las ciencias del deporte”. Siempre resultará muy agradable mirar atrás y recordar todos los años de preparación, así como, muy especialmente, aquellos cuatro intensos días en que en nuestro instituto se hablaban tantas variedades del inglés y durante el que recibimos tantas muestras de gratitud, y compartimos el entusiasmo y el trabajo bien hecho de numerosos investigadores de las ciencias del deporte.

El congreso ha sido definido por los representantes del ECSS como el congreso de los récords: récord de participantes (3.112), de resúmenes recibidos (2.452), de expositores (68), de países participantes (75), de participantes en los Premios para Jóvenes Investigadores (538), de talleres y simposios satélite (10) con más de 500 participantes, todos organizados por diferentes instituciones justo antes o después del congreso, en el mismo INEFC; en resumen, el congreso más importante de la historia del ECSS. El lector puede consultar las estadísticas y las cuestiones logísticas en el resumen oficial (www.sport-science.org). Sin embargo, para nosotros, el ECSS Barcelona 2013 fue, sobre todo, una experiencia única de trabajo en equipo.

Según Will Hopkins, el periodista oficial del ECSS, teniendo en cuenta todos los criterios habituales, incluido el factor “sorpresa” de la investigación, el congreso fue un éxito. A lo largo de los cuatro días de su duración, se presentaron trabajos de investigación de gran calidad, tanto en las sesiones plenarias como en los simposios, las presentaciones y las minipresentaciones orales y los pósters electrónicos no debatidos (para consultar las aportaciones científicas, ver Hopkins, 2013). En el marco de los Premios para Jóvenes Investigadores, jóvenes científicos presentaron los resultados de sus investigaciones y los 10 mejores fueron galardonados en dos categorías: minipresentación

and oral presentations. Moreover, the Professional Association of Physical Education of Catalonia (COPLEFC) gave an award to the best Catalan poster, and the Gatorade Sports Science Institute (GSSI) also offered a prize to the best sports nutrition research.

Many social events helped the delegates to improve their networks, as well as to enjoy four pleasant days in Barcelona. The opening and closing ceremonies surprised the audience with excellent dancing, acrobatic and circus performances produced by INEFC teachers and performed by INEFC students and by professional artists, also students or ex-students of the INEFC (Barcelona and Lleida). The special collaboration in the opening ceremony of the Castellers de Sants moved the audience with their amazing human towers (castells). The cocktail party for the finalists of the Young Investigators Awards at the University of Barcelona and the closing party were two beautiful events that caught the flavour of the city. Delegates could also enjoy the olympic mountain of Montjuïc, with free sport activities in the Bernat Picornell Swimming Pool and tickets to the museums in the area. Attendees appreciated the hospitality of the hosts, and especially the work of the 72 volunteers coming from different countries but mostly from the INEFC, and socialized with colleagues and industry exhibitors to unify sport science.

We are enormously grateful to all the volunteers and to our colleagues who contributed to this success, especially to the members of the scientific and organizing committees. We also appreciatively acknowledge the support and work of the ECSS, which trusted in our institution and gave us the necessary structure for organizing this event, as well as the support of all the institutional partners of the congress.

oral (póster electrónico) y presentación oral. Así mismo, el Colegio de Licenciados en Educación Física y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de Cataluña (COPLEFC) premió el mejor póster catalán, y el Instituto Gatorade de Ciencias del Deporte (GSSI) también premió la mejor investigación sobre nutrición deportiva.

Numerosas actividades sociales ayudaron a los delegados a mejorar sus redes, además de disfrutar de cuatro días maravillosos en la ciudad de Barcelona. En las ceremonias de inauguración y de clausura se sorprendió al público con actuaciones de baile, acrobacias y circo espectaculares, producidas por los profesores del INEFC y llevadas a cabo por sus estudiantes y artistas profesionales, así como exestudiantes de INEFC (Barcelona y Lleida). Debemos destacar la actuación, durante la ceremonia de inauguración, de los Castellers de Sants, que emocionaron el público asistente con sus impresionantes *castells* (torres humanas). El cóctel para los finalistas del Premio para Jóvenes Investigadores, que tuvo lugar en la Universidad de Barcelona, y la fiesta de clausura fueron dos gratos eventos que supieron captar el alma de la ciudad. Los delegados también pudieron disfrutar de las actividades llevadas a cabo en Montjuïc, como por ejemplo prácticas deportivas gratuitas en las Piscinas Bernat Picornell o entradas para los museos de la zona. Los participantes valoraron muy positivamente la hospitalidad de sus anfitriones y el trabajo hecho por los 72 voluntarios y voluntarias procedentes de diferentes países, pero sobre todo del INEFC, y la posibilidad de relacionarse con sus colegas y representantes de la industria con el objetivo de unificar las ciencias del deporte.

Estamos muy agradecidos a todos los voluntarios y voluntarias, y a nuestros colegas, que han contribuido a este éxito, y muy especialmente a los miembros de los comités científicos y organizadores. También deseamos mostrar nuestro agradecimiento por el apoyo y el trabajo del ECSS que confió en nuestra institución y nos facilitó la infraestructura necesaria para organizarlo, así como por la ayuda recibida de todos los socios institucionales del congreso.

The motto of the congress: Unifying Sport Science

Scientific disciplines are the eyes through which modern society sees and forms its images about the world, framing its experience and learning, shaping the education system and its own future as well as reconstituting the past. They form the social order of knowledge (Weingart & Stehr, 2000).

Reductionism has dominated the research of the scientific disciplines for over a century and has shaped the way of thinking in the West. To understand any phenomenon reductionism breaks it down into increasingly smaller parts with the help of technological advances: organisms are dissected, cells isolated, atoms smashed, etc. A similar process is followed in sport science. For instance, sport performance is divided into multiple components (physical, psychological, biological, technical, tactical, etc); in turn, the physical components are divided into endurance, strength and so on which in turn are also split into maximal strength, explosive strength, etc., and even every muscle group is isolated for training purposes. Specialization becomes unavoidable because methods and concepts that underlie each division are difficult to master and new study areas continually emerging. In the context of increasing fields of knowledge the promise of a unified science seems no longer credible as an institutional clamp (Engelberg, 1995).

While reductionism has provided a wealth of knowledge it is increasingly clear that a discrete biological function can only rarely be attributed to an individual molecule. Most biological characteristics arise from complex interactions: between proteins, cells, organisms, groups, societies. This is also how our brain, the most powerful information management device, works: filtering, selecting, assembling, and organizing the vast streams of information ceaselessly impinging on it. Integration and specialization are two main functions of the human brain that work and are developed jointly (Fox et al., 2005; Izhikevich, Gally, & Edelman, 2004; Thompson & Swanson, 2010).

El lema del congreso: Unificar las Ciencias del Deporte

Las disciplinas científicas son los ojos a través de los que la sociedad moderna ve y se forma una imagen del mundo, encuadra sus experiencias y aprende, construyendo el sistema educativo y su propio futuro, así como reconstruyendo el pasado. Conforman el orden social del conocimiento (Weingart & Stehr, 2000).

El reduccionismo ha dominado la investigación de las disciplinas científicas durante casi un siglo y ha conformado la manera de pensar en occidente. Para entender cualquier fenómeno, el reduccionismo lo descompone en partes cada vez más pequeñas con la ayuda de los adelantos tecnológicos: los organismos se diseccionan, las células se aíslan, los átomos se fragmentan, etc. En las ciencias del deporte se sigue un procedimiento similar. Por ejemplo, el rendimiento deportivo se divide en múltiples componentes (físico, psicológico, biológico, técnico, táctico...); a su vez, los componentes físicos se dividen en resistencia, fuerza..., que también se pueden dividir en fuerza máxima, fuerza explosiva... Incluso los grupos de músculos se trabajan de manera aislada en los entrenamientos. La especialización es inevitable, puesto que los métodos y los conceptos que se encuentran en la base de cada fraccionamiento son muy difíciles de dominar y continuamente nacen nuevas áreas de estudio. En este contexto, en que las áreas de conocimiento son cada vez más numerosas, la promesa de una ciencia unificada ya no parece creíble institucionalmente (Engelberg, 1995).

A pesar de que el reduccionismo nos ha proporcionado mucha información, muy pocas veces podemos atribuir una determinada función biológica a una sola molécula. La mayoría de características biológicas surgen de interacciones complejas: entre proteínas, células, organismos, grupos, sociedades. Así es como trabaja nuestro cerebro, el dispositivo de gestión de la información más potente: filtrando, seleccionando, reuniendo y organizando las enormes corrientes de información que nos llegan sin cesar. La integración y la especialización son dos de las funciones principales del cerebro humano, y trabajan y se desarrollan conjuntamente (Fox et al., 2005; Izhikevich, Gally, & Edelman, 2004; Thompson & Swanson, 2010).

From the early nineteenth century onwards, when the differentiation and specialization of science became apparent, the unity of science had become a promise of some future synthesis, be it by way of synthesizing principles or by reduction through the methodology of logical empiricism as was the hope of the unity of science movement (Weingart & Stehr, 2000).

From its creation one of the main aims of the ECSS has been to contribute to sport science unification. However, during almost two decades, the tremendous growth of the field has only produced a further specialization. The motif of this 18th edition of the ECSS Congress "Unifying Sport Science" aimed to promote integration and improve the mutual understanding between the different fields, facilitating the transfer of theoretical explanatory principles, techniques and insights between disciplines.

As a multidisciplinary congress the ECSS annually brings together the research produced by sport physiologists, biologists, physical education teachers, psychologists, biomechanists, sociologists, philosophers, coaches, physiotherapists, and medical doctors among others, to present their findings related with sport phenomena. Is this enough to unify sport science? Multidisciplinary approaches entail a non-integrative mixture of disciplines; in contrast, inter- and transdisciplinary approaches, requiring crossing the boundaries between disciplines, are integrative. In particular, transdisciplinary approaches are not just whole-istic (holistic); they also signify a unity of knowledge beyond disciplines (Nicolescu, 2002).

But some questions arise: Is it possible to unify the fragmented research areas in sport science? Are there common principles between them? How to do it? The congress attempted to take a step forward in this direction but a long way still needs to be travelled before sport science unification will become a reality.

In the following sections we will focus on integration, and in particular on transdisciplinarity, not with the aim to replace specializations, but to complement

Desde principios del siglo XIX, cuando la diferenciación y la especialización de la ciencia se hicieron evidentes, la unidad de la ciencia se convirtió en una promesa de síntesis futura, ya fuera a través de principios de síntesis o bien de reducción mediante la metodología del empirismo lógico, lo que representó la esperanza de la unidad del movimiento científico (Weingart & Stehr, 2000).

Desde su creación, uno de los objetivos más importantes del ECSS ha sido contribuir a la unificación de las ciencias del deporte. Asimismo, durante casi dos décadas, el gran crecimiento de este ámbito de conocimiento solamente ha conllevado un aumento de la especialización. El tema central de esta 18ª edición del congreso ECSS "Unificar las Ciencias del Deporte", tenía el objetivo de promover la integración y mejorar el entendimiento mutuo entre los diferentes campos para facilitar la transferencia de principios explicativos teóricos, técnicas y perspectivas entre disciplinas.

Como congreso pluridisciplinar, el ECSS reúne cada año los frutos de la investigación efectuada por médicos especialistas en deporte, biólogos, profesores de educación física, psicólogos, biomecánicos, sociólogos, filósofos, entrenadores y fisioterapeutas, entre otros, para presentar sus descubrimientos en relación con el fenómeno deportivo. ¿Basta con esto para unificar las ciencias del deporte? Mientras que los enfoques pluri y multidisciplinares implican una combinación no integrante de disciplinas, los enfoques inter y transdisciplinares exigen cruzar los límites entre disciplinas, y son integrantes. Concretamente, los enfoques transdisciplinares no son solo holísticos, sino que conllevan una unidad de conocimiento más allá de las disciplinas (Nicolescu, 2002).

En este punto surgen varias preguntas: ¿Es posible unificar las áreas de investigación fragmentadas de las ciencias del deporte? ¿Comparten principios? ¿Cómo podemos llevarlo a cabo? El congreso intentó dar un paso más en esta dirección, pero todavía hay que recorrer un largo camino antes de que la unificación de las ciencias del deporte sea una realidad.

En las próximas secciones nos centraremos en la integración y, sobre todo, en la transdisciplinaria, con el objetivo de complementar la especialización, no de sustituirla.

them. We have the hope that going from the whole to the parts and from the parts to the whole will help sport scientists to recognize the right paths.

Integration in sport science

The words “integration” and “integrative” appear in many contexts and have different meanings in sport science. They can be used to bring different disciplines to bear upon a particular problem (e.g., fatigue can be studied from a physiological, biomechanical or psychological point of view), monitor simultaneously different processes operating at the same time or at different scales (e.g., ranging from molecular to organism level, as it happens in exercise physiology), or they can be applied to describe how certain organism subsystems are connected in a regulatory fashion (e.g., feedback cycles). However, the word “integration” can be employed in a different and special sense when it is applied to living units (cells, multi-cellular organisms or social systems). In such systems integration is dynamic and nonlinear, i.e., the interaction between the subsystems leads to the emergence of new components and new properties which do not belong to any subsystem. The concept of unifying is linked to this particular understanding of integration.

It would be a mistake to consider integrative approaches as just another area of specialization or alongside the other areas of specialization. Integrative approaches are at a different hierarchical level above, not alongside, the areas of specialization.

Sport and exercise science still treat the human organism as a machine or technical device, and therefore its integrative functions are studied within the framework of traditional control theory. In the nineteenth century neuroanatomists described human movement as analogous to an executive system; Newtonian mechanics and Turing computation completed this vision including the feedback provided by the musculoskeletal system. Concepts

Esperamos que ir del todo a las partes y de las partes al todo guíe a los científicos del deporte a encontrar las sendas correctas.

La integración en las ciencias del deporte

Las palabras integración e integrante aparecen en muchos contextos y tienen diferentes significados en las ciencias del deporte. Puede ser que tengan que ver con la relación entre las diferentes disciplinas para tratar sobre un problema particular (por ejemplo, el cansancio se puede estudiar desde un punto de vista fisiológico, biomecánico o psicológico); o con el monitoraje simultáneo de varios procesos que actúan a la vez o en niveles diferentes (por ejemplo, del molecular al orgánico, como sucede en la fisiología del ejercicio), o bien se pueden utilizar para describir como determinados subsistemas de un organismo están conectados de manera reguladora (como los ciclos de retroalimentación). No obstante, la palabra “integración” también se puede usar en un sentido diferente y especial cuando se aplica a unidades vivas (células, organismos pluricelulares o sistemas sociales). En estos sistemas, la integración es dinámica y no lineal; por ejemplo, la interacción entre subsistemas conlleva la aparición de nuevos componentes y nuevas propiedades que no pertenecen a ningún subsistema. El concepto de unificación está relacionado con esta visión concreta de la integración.

Sería un error considerar los enfoques integrantes como otra área de especialización o paralelos a otras áreas de especialización puesto que se encuentran en un nivel jerárquico superior.

El deporte y las ciencias del deporte todavía tratan al cuerpo humano como una máquina o un aparato, por lo que sus funciones integrantes se estudian en el marco de la teoría de control tradicional. En el siglo XIX, la neuroanatomía describía el movimiento humano como si fuera un sistema ejecutivo; esta visión se completó con la mecánica de Newton y el modelo computacional de Turing, incluyendo el *feedback* proporcionado por el sistema musculoesquelético. Para describir la regulación de los sistemas durante el ejercicio se suele recurrir a conceptos como el

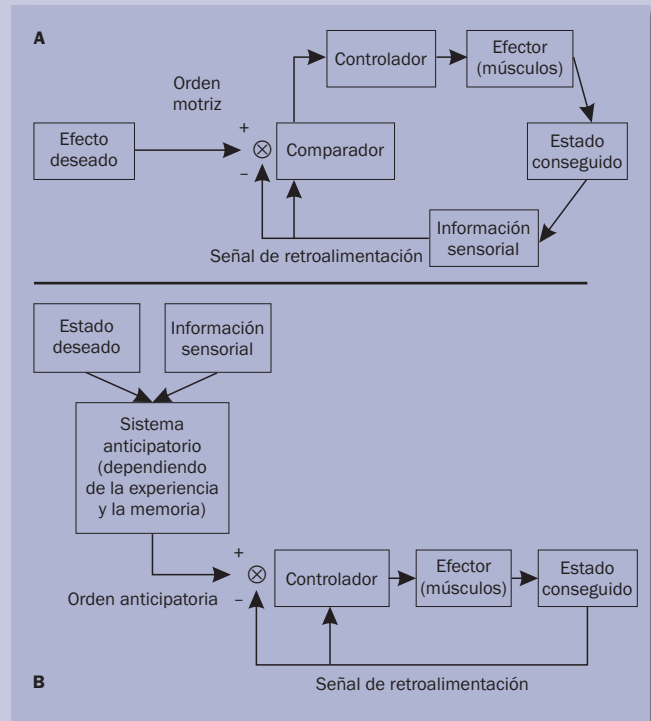
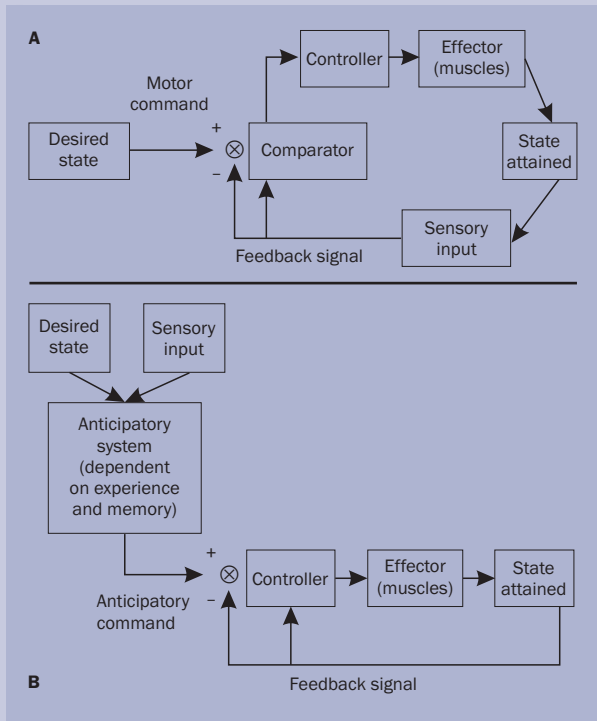


Figure 1. Feedback (A) and feed-forward (B) control of voluntary movement. A sign of correction is created in both mechanisms to change the action of the muscles according to the difference between the desired and achieved states (Balagué, Hristovski, Vainoras, Vázquez, & Aragónés, 2013)

Figura 1. Retroalimentación (A) y retroalimentación activa (B) para el control del movimiento voluntario. Ambos mecanismos generan un signo de corrección para modificar la acción de los músculos de acuerdo con la diferencia entre el estado deseado y el alcanzado efectivamente (Balagué, Hristovski, Vainoras, Vázquez, & Aragónés, 2013)

such as homeostasis, feedback loops and programmers are usually evoked to describe system regulation during exercise. The behavior predictions of this ‘engineering’ approach are linear, i.e., proportional between inputs and outputs and are displayed through descriptive block diagrams, commonly applied to represent how organic structures and processes interact (see Fig. 1). The basic assumption of these diagrams is that of time-invariant encapsulated modules, processes and regulation profiles. As long as one deals with conceptual, i.e., verbal, descriptive modeling, this approach based on explicit feedback loops seems fine. Problems arise, however, when one tries to model mathematically more than a couple of interlinked components together (Kelso, 1995). Then the system rapidly becomes impossible to treat in terms of explicit feedback circuits. Such integrative models have serious prediction problems

de homeostasis, los circuitos de retroalimentación y los programadores. Las predicciones de comportamiento de este planteamiento de “ingeniería” son lineales, es decir, que mantienen la proporcionalidad entre causas y efectos. Se representan mediante diagramas de cajas, utilizados generalmente para representar la interacción entre estructuras y procesos orgánicos (ver la fig. 1). Estos diagramas se basan en unos hipotéticos módulos que recogen procesos y perfiles de regulación invariables y estancos. Mientras nos centramos en modelos descriptivos conceptuales, p.e. verbales, este enfoque basado en circuitos de retroalimentación explícitos ya nos va bien. Los problemas aparecen cuando intentamos modelar matemáticamente más de un par de componentes interrelacionados juntos (Kelso, 1995). Entonces, el sistema rápidamente se convierte en imposible de tratar en términos de los citados circuitos de retroalimentación. Estos modelos integrantes presentan serios problemas de predicción, puesto que la

because linearity and additively are barely evident or non-existent in human and social organisms (Van Orden & Paap, 1997).

From linear to nonlinear integration

As Friedman (1974) claimed, understanding the phenomena is not simply a matter of reducing the “fundamental incomprehensibilities” but of seeing connections, common patterns, in what initially appeared to be different situations. Indeed, most biological characteristics arise from complex interactions and a key challenge in the twenty-first century is therefore to understand the structure and dynamics of these complex interactions, as this will surely foster a better understanding between the different scientific disciplines.

Systems under study in sport science (athletes, teams, games, clubs, etc.) consist of structurally and functionally heterogeneous components which interact (generally informationally or/and mechanically) with varying intensities and spanning different spatio-temporal scales. Components cannot be studied in isolation, as microscopic causes, since through interactions they build emerging wholes with emerging properties. In addition, they behave differently when isolated than when interacting in the whole network of processes. For instance, integrative biology, concerned with synthesis and integration (Giebisch et al., 1990), explains how the parts of cellular and multi-cellular organisms combine to form living wholes. These parts interact at different levels in a unified, coordinated way, pursuing common goals, and thus, their functions are totally correlated. The study of the hierarchical organization that structures and processes the flows of information through the system is fundamental to the development of integrative thought. Nevertheless, the nature of this hierarchy is still not a subject of investigation and its conception is very primitive leading often to confusion (e.g., studying molecules in exercise physiology investigation).

linealidad y la adicción son poco evidentes o inexistentes en los organismos sociales y humanos (Van Orden & Paap, 1997).

De la integración lineal a la no lineal

Tal como mantenía Friedman (1974), comprender los fenómenos no consiste únicamente en reducir sus “incomprensiones fundamentales”, sino en descubrir conexiones, patrones comunes, en lo que inicialmente parecían situaciones diferentes. De hecho, la mayoría de características biológicas aparecen de interacciones complejas y uno de los retos clave de nuestro siglo es, por lo tanto, entender la estructura y la dinámica de estas interacciones, puesto que esto conllevará, sin duda, una mejor comprensión entre las diferentes disciplinas científicas.

Los sistemas que estudian las ciencias del deporte (atletas, equipos, juegos, clubes, etc.) consisten en componentes heterogéneos funcional y estructuralmente que interactúan a menudo de manera informacional y/o mecánica con intensidades variables y cubriendo diferentes escalas de espacio-tiempo. Los componentes no se pueden estudiar de manera aislada como causas microscópicas, puesto que, a través de las interacciones, construyen totalidades emergentes con propiedades emergentes. Además, cuando están aislados se comportan de manera diferente respecto de cuando interactúan dentro de la red de procesos completa. Por ejemplo, la biología integrante, que se ocupa de la síntesis y la integración (Giebisch et al., 1990), explica como las diversas partes de los organismos celulares y multicelulares se combinan para formar sistemas vivos. Estas partes interactúan a niveles diferentes de forma unificada y coordinada para conseguir objetivos comunes, así que sus funciones están del todo correlacionadas. El estudio de la organización jerárquica que estructura y procesa los flujos de información a través del sistema es fundamental para el desarrollo del pensamiento integrante. No obstante, todavía no se ha investigado la naturaleza de esta jerarquía y se tiene una concepción muy primitiva que a menudo crea confusión (por ejemplo, en el ámbito de la fisiología del ejercicio se estudian moléculas).

The latest advances in technology, mathematical modeling and computation possibilities have promoted the growth of a new body of scientific disciplines able to cope with the complexity of sports, and the 18th edition of the ECSS Congress sought to drive them to help the growth of related areas, such as the personalized exercise medicine paradigm. In his conference paper Kelso (2013), discussed this contribution with the following comments:

Consider "Testing Ronaldo". The focus is primarily on measurement and different ways to capture various aspects of what makes Ronaldo a great footballer. Interesting though it is, lacking is a broad framework of ideas with which to interpret and integrate findings from the many different levels and scales of observation involved in typical sports settings. At each level of complexity, from the cellular to the social, who are the players, what are their properties and what are the rules of the game? How do we go about it?

In order to answer these questions, integration has to be interpreted as a complex and nonlinear synergy between the athlete/team and the continuously changing environment (Davids & Araújo, 2010). This synergy is self-organized, and follows the principles of any complex system.

In the last decades of the twentieth century, the mutual relation of the nervous system, the body and the environment and the ecological perspective on control were identified as key issues in the theory of motor control (Turvey & Fonseca, 2008). Due to these advances, more than 30 years ago, the first works appeared explaining animal and human movement coordination using similar concepts as those in other areas of science, such as matter or non-equilibrium physics (Haken, Kelso, & Bunz, 1985; Kelso, Southard, & Goodman, 1979). These concepts were applied to study human coordination in sport, as well as to improve motor learning and training strategies (Balagué & Torrents, 2011; Davids, Button, & Bennet, 2008; McGarry, Anderson, Wallace, Hughes, & Fanks, 2002).

Los últimos adelantos en tecnología, modelado matemático y posibilidades computacionales han impulsado el crecimiento de un nuevo cuerpo de disciplinas científicas capaz de hacer frente a las complejidades del deporte, y en la 18ª edición del Congreso del ECSS se intentó darlo a conocer para apoyar al crecimiento de algunas áreas relacionadas, como la del paradigma de la del ejercicio personalizado. Kelso (2013), en su intervención, habló de esta contribución e hizo los comentarios siguientes:

Pensamos en el fenómeno "testing Ronaldo". El objetivo es, principalmente, la medición y las diferentes formas de detectar los aspectos que hacen de Ronaldo un gran futbolista. A pesar de que es un tema interesante, nos falta un marco conceptual para interpretar e integrar los datos de los diferentes niveles y escalas de observación que acostumbran a formar parte de la configuración típica de los deportes. En cada nivel de complejidad, del celular al social, ¿quiénes son los jugadores, cuáles son sus propiedades y cuáles son las reglas del juego? ¿Cómo lo podemos saber?

Para responder a estas preguntas, la integración se tiene que interpretar como una sinergia compleja y no lineal entre el atleta/equipo y un medio que se encuentra en continua transformación (Davids & Araújo, 2010). Esta sinergia se autoorganiza y sigue los principios de cualquier sistema complejo.

Durante las últimas décadas del siglo XX, la relación mutua entre el sistema nervioso, el cuerpo y el medio, y la perspectiva ecológica sobre el control se identificaron como cuestiones clave para la teoría del control motor (Turvey & Fonseca, 2008). Gracias a estos adelantos, hace más de 30 años, empezaron a aparecer los primeros trabajos sobre la coordinación del movimiento en los humanos y los animales, que utilizaban conceptos similares a las otras áreas de la ciencia, como la materia y la física fuera de equilibrio (Haken, Kelso, & Bunz, 1985; Kelso, Southard, & Goodman, 1979). Estos conceptos se aplicaron tanto al estudio de la coordinación humana en el deporte como a la mejora de las estrategias de entrenamiento y de aprendizaje motriz (Balagué & Torrents, 2011; Davids, Button, & Bennet, 2008; McGarry, Anderson, Wallace, Hughes, & Fanks, 2002).

During the congress, this approach was especially present in the research focused on team sports. Instead of centering on the characterization of the information processing and perceptual skills of performance, emphasis was put on team coordination, and interpersonal relations between players and teams over time in which actions and decisions are embedded. A number of researchers presented their results on the study of the processes by which teammates and opponents interact and give rise to team game dynamics (Bourbousson, 2013; Fonseca, Lopes, Leser, Baca, & Hadjileontiadis., 2013; Frencken, 2013; Leser & Baca, 2013; Lopes et al., 2013; Passos, 2013). There were also studies that analyzed the effects of different constraints on performance using this framework (Aguiar, Botelho, Gonçalves, & Sampaio, 2013; Daskalovski, Naumovski, Hristovski, & Zivkovic, 2013; Nakagawa, Kawashima, Muraoka, & Kanosue, 2013; Ric, Torrents, Hristovski, & Aceski, 2013; Seifert et al, 2013).

In the area of sports medicine and during the plenary session “Does pain produce gain?” the classical assumption that similar training stimuli can produce similar effects on different persons was challenged by Claude Bouchard (2013). Although he asserted, supported by numerous cross-sectional and longitudinal epidemiological studies as well as exercise intervention studies, that from a public health perspective, regular exercise is beneficial for everyone, he pointed out the individual differences and varied responses to regular exercise. Using transcriptomic and genomic technologies, Bouchard studied the effect of regular exercise in 1700 adults. His results revealed that the prevalence of adverse responders reached about 10% for a given risk factor while about 7% experienced multiple adverse responses. The author concluded that it is time to move away from the “no pain, no gain” model and to embrace the personalized exercise medicine paradigm. Pain causes, among others, negative “effects” due to adherence to exercise routines and also on exercise performance (Mauger & Hopker, 2012; Mauger, Jones, & Williams, 2010; Parfitt, Rose, & Burgess, 2006).

Durante el congreso, este planteamiento lo encontramos, sobre todo, en las investigaciones sobre los deportes de equipo. En vez de centrarse en la caracterización del procesamiento de la información y en las habilidades perceptivas de los deportistas, se enfatizó en el estudio de la coordinación interpersonal entre jugadores y equipos y su evolución temporal, que son el marco en que se desarrollan las acciones y las decisiones. Varios investigadores presentaron sus resultados sobre los procesos de interacción de jugadores de un mismo equipo y de equipos de oponentes, que dan lugar a la llamada dinámica del juego (Bourbousson, 2013; Fonseca, Lopes, Leser, Baca, & Hadjileontiadis., 2013; Frencken, 2013; Leser & Baca, 2013; Lopes et al., 2013; Passos, 2013). También se presentaron comunicaciones que analizaban los efectos de las limitaciones en el rendimiento dentro de este marco conceptual (Aguiar, Botelho, Gonçalves, & Sampaio, 2013; Daskalovski, Naumovski, Hristovski, & Zivkovic, 2013; Nakagawa, Kawashima, Muraoka, & Kanosue, 2013; Ric, Torrents, Hristovski, & Aceski, 2013; Seifert et al, 2013).

En el área de la medicina deportiva, y durante la sesión plenaria “¿Con dolor se obtienen resultados?”, Claude Bouchard (2013) puso en entredicho la creencia generalizada de que un mismo estímulo produce efectos similares en diferentes personas. A pesar de que afirmó, a partir de numerosos estudios epidemiológicos longitudinales y transversales, y sobre el ejercicio, que, desde una perspectiva pública, el ejercicio regular es beneficioso para todo el mundo, quiso destacar las diferencias individuales y las diferentes respuestas al ejercicio regular. Mediante tecnologías propias de la genómica y la transcriptómica, Bouchard analizó los efectos del ejercicio regular en una población de 1.700 adultos. Los resultados de este estudio revelaron que las respuestas negativas lograban el 10% para un determinado factor de riesgo, mientras que un 7% experimentaba múltiples respuestas negativas. El autor concluyó que es hora de dejar atrás el modelo “sin dolor, no hay resultado” y de adoptar el paradigma médico del ejercicio personalizado. El dolor hace que las personas dejen de seguir sus rutinas de ejercicio y, además, también afecta a su rendimiento, entre otros inconvenientes (Mauger & Hopker, 2012; Mauger, Jones, & Williams, 2010; Parfitt, Rose, & Burgess, 2006)

Towards a transdisciplinary approach. Unification of knowledge in sport science

Complexity sciences have introduced not only new assumptions to understand how integration is produced in living systems, but also new concepts and new tools to study it. In particular, the coordination dynamic approach, which describes, explains, and predicts how patterns of coordination form, persist and change in living systems (Kelso, 1995, 2009), seems able to cope with the dominant reductionism and dilute the extant boundaries between sport science disciplines. The aim of this field of work is to understand principles and laws that lead the dynamics of behavioral pattern formation under changing constraints. It can be applied at different scales (from proteomics to social networks) and to different types of phenomena, usually approached by separate disciplines (from biochemistry to social sciences). During the congress, and on the basis of such general principles and laws, a transdisciplinary approach to sport science was presented (Balagué, Hristovski, & Torrents, 2013). The authors showed using Hristovski's model of synthetic knowledge (Hristovski, 2013) that scientific research could be envisioned as a result of cooperative processes between disciplines, and how a synthetic world view is emerging based on nonlinear dynamic systems theory (NDST) and statistical physics.

Whereas separate scientific fields maintain their context-dependent language, under the presence of general explanatory principles derived from NDST the linguistic barriers between disciplines are reduced and a common language and synthetic knowledge emerges. In sport science, the coordination dynamics approach nourished by NDST concepts and principles, has been applied to biomechanics and motor learning, collective sports, and more recently to exercise psychobiology, contributing to the development of the aforementioned synthetic view (Balagué, Torrents, Hristovski, Davids, & Araújo, 2012).

Hacia un enfoque transdisciplinario. Unificación del conocimiento en las ciencias del deporte

Las ciencias de la complejidad no sólo han introducido nuevas hipótesis para entender como se produce la integración en los sistemas vivos, sino también nuevos conceptos y nuevas herramientas para estudiarla. En concreto, el enfoque de la dinámica de coordinación que describe, explica y predice cómo se forman, persisten y cambian los patrones de coordinación en los sistemas vivos (Kelso, 1995, 2009), parece capaz de hacer frente al reduccionismo dominante y de diluir los límites existentes entre las diferentes disciplinas de las ciencias del deporte. El objetivo de este ámbito de estudio consiste a entender los principios y las leyes que regulan la formación de los patrones de comportamiento bajo la influencia de condiciones cambiantes. Se puede aplicar a escalas diferentes (desde la proteómica hasta las redes sociales) y a varios tipos de fenómenos, generalmente estudiados por disciplinas independientes (desde la bioquímica hasta las ciencias sociales). Durante el congreso, a partir de estos principios y leyes generales, se presentó un enfoque transdisciplinario de las ciencias del deporte (Balagué, Hristovski, & Torrents, 2013). Los autores mostraron, utilizando el modelo de conocimiento sintético de Hristovski (2013), que la investigación científica se puede concebir como resultado de los procesos cooperativos entre disciplinas, y que de la mano de la teoría de los sistemas dinámicos no lineales (TSDNL) y de la física estadística está emergiendo una visión sintética del mundo.

Mientras que las diferentes ramas científicas mantienen su lenguaje específico (dependiendo del contexto), con la presencia de una serie de principios explicativos generales derivados de la TSDNL, las barreras lingüísticas entre las disciplinas se reducen, a la vez que aparecen un lenguaje común y un conocimiento de tipo sintético. En la ciencias del deporte, el planteamiento de la dinámica de coordinación, fomentado en los conceptos y principios de dicha teoría, ha sido aplicado en el ámbito de la biomecánica y el aprendizaje motriz, de los deportes colectivos y, más recientemente, de la psicobiología del ejercicio (Balagué, Torrents, Hristovski, Davids, & Araújo, 2012), con lo cual se ha contribuido al desarrollo de la visión sintética antes mencionada.

Their applications are still scarce because of the limited filtration of physics and mathematics in the field. However, the possibilities are enormous because exercise and sport phenomena are characterized by perturbations, variability and dynamic changes that cannot be adequately modeled by linear approaches.

Figure 2 shows the linguistic barriers that should be surpassed by statistical physics to reach motor learning or collective sport, and Figure 3 shows how these barriers dilute when NDST terms are employed (Hristovski, 2013).

During the opening session, and in relation with the unification claim, the congress organizers asserted that sport science was challenged to take a big leap in understanding living organisms not as a part of the technical world but as interacting parts of an indivisible whole: nature. A Swedish philosopher, Jonasson (2013), challenged this message in her presentation affirming that a sense of unification may be better achieved via the technical world, which she claimed is a common ground between the disciplines of sport science.

Although it is beyond doubt that advances in science require new technology, in the history and philosophy of science what is commonly understood under the term unification is finding a set of bonding explanatory principles accounting for a set of apparently distinct phenomena (Friedman, 1974). In this sense techniques and technologies could not be seen as a common ground between sciences simply because they are not explanatory principles. In fact, it is the technological advances in the last decades (especially in vivo microscopy) that have made possible the blossoming of experimental research in genomics and cell biology that based on the unifying explanatory principles is applied to an ever-increasing scale of organized matter (Agrawal, 2002; Barabasi & Oltvai, 2004; Chang, Hemberg, Barahona, Ingber, & Huang, 2008; Hasty, Pradines, Dolnik, & Collins, 2000; Karsenti, 2008; Walczak, Sasai, & Wolynes, 2005; Woo & Wallquist, 2011).

Las aplicaciones son pocas todavía, debido a la limitada filtración de la física y las matemáticas en este campo. Sin embargo, las posibilidades son enormes, puesto que el ejercicio y los fenómenos deportivos se caracterizan por las perturbaciones, la variabilidad y los cambios dinámicos que no se pueden modelar de manera adecuada a partir de enfoques lineales.

En la *figura 2* se muestran las barreras lingüísticas que la física estadística tendría que superar para estudiar el aprendizaje motor o los deportes colectivos, mientras que en la *figura 3* vemos como se diluyen estas barreras si utilizamos la TSDNL (Hristovski, 2013).

Durante la sesión inaugural, en relación con la voluntad de unificación, los organizadores del congreso explicaron que las ciencias del deporte se encuentran ante un gran reto: entendernos no como parte del mundo técnico sino como partes activas de un todo indivisible, la naturaleza. Una filósofa sueca, Jonasson (2013), cuestionó esta idea en su presentación, al afirmar que sería más fácil lograr la unificación a través del mundo de la técnica que considera una base común para las disciplinas de las ciencias del deporte.

Aunque no hay ningún tipo de duda que los avances científicos requieren de las nuevas tecnologías, desde la perspectiva de la historia y la filosofía de la ciencia se entiende, de forma general, que la unificación consiste en encontrar de principios explicativos aglutinantes capaces de explicar fenómenos aparentemente independientes (Friedman, 1974). En este sentido, las técnicas y las tecnologías no se pueden considerar como una base común para las ciencias, sencillamente porque no pertenecen a la clase de los principios explicativos generales. De hecho, son precisamente los adelantos tecnológicos de las últimas décadas (especialmente la microscopía in vivo) los que han hecho posible el florecimiento de una investigación experimental en genómica y biología celular que, basada en principios explicativos unificadores, se aplica a una escala cada vez mayor de la materia organizada (Agrawal, 2002; Barabasi & Oltvai, 2004; Chang, Hemberg, Barahona, Ingber, & Huang, 2008; Hasty, Pradines, Dolnik, & Collins, 2000; Karsenti, 2008; Walczak, Sasai, & Wolynes, 2005; Woo & Wallquist, 2011).

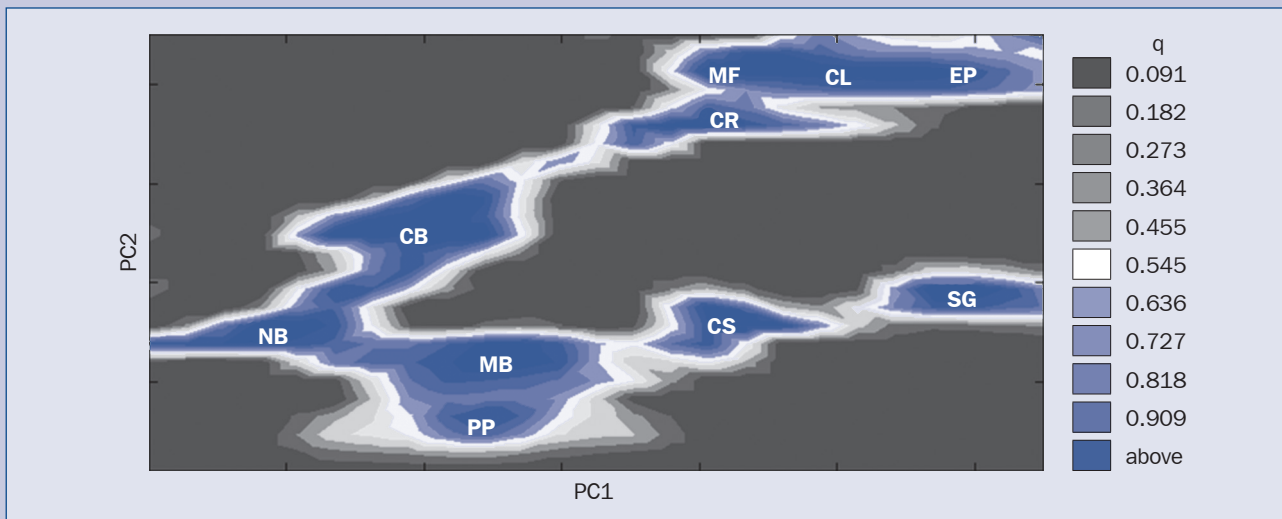


Figure 2. Basins of attraction and saddle points between scientific fields in the absence of general principles in the space spanned by the first two principal components. The communication between fields is constrained in a narrow channel between conceptually neighbouring disciplines. It defines a state of low linguistic coherence (EP-elementary particles physics; CL-cosmology; MP-molecular physics; CR-chemical reactions; CB-cell biology; NB-neurobiology; MB-motor behavior; PP-psychological processes; CS-collective sports, SG-sociology of groups) (Hristovski, 2013). (With the kind permission of Research in Physical Education Sport and Health Journal)

Figura 2. Cuencas de atracción y puntos de equilibrio entre los campos científicos, en ausencia de principios generales, en el espacio ocupado por los dos primeros componentes principales. La comunicación entre campos se ve limitada a un estrecho canal entre disciplinas conceptualmente similares, lo que define un estado de baja coherencia lingüística (EP: física de partículas elementales; CL: cosmología; MP: física molecular; CR: reacciones químicas; CB: biología celular; NB: neurobiología; MB: comportamiento motriz; PP: procesos psicológicos; CS: deportes colectivos; SG: sociología de grupos) (Hristovski, 2013). (Con el permiso de Research in Physical Education Sport and Health)

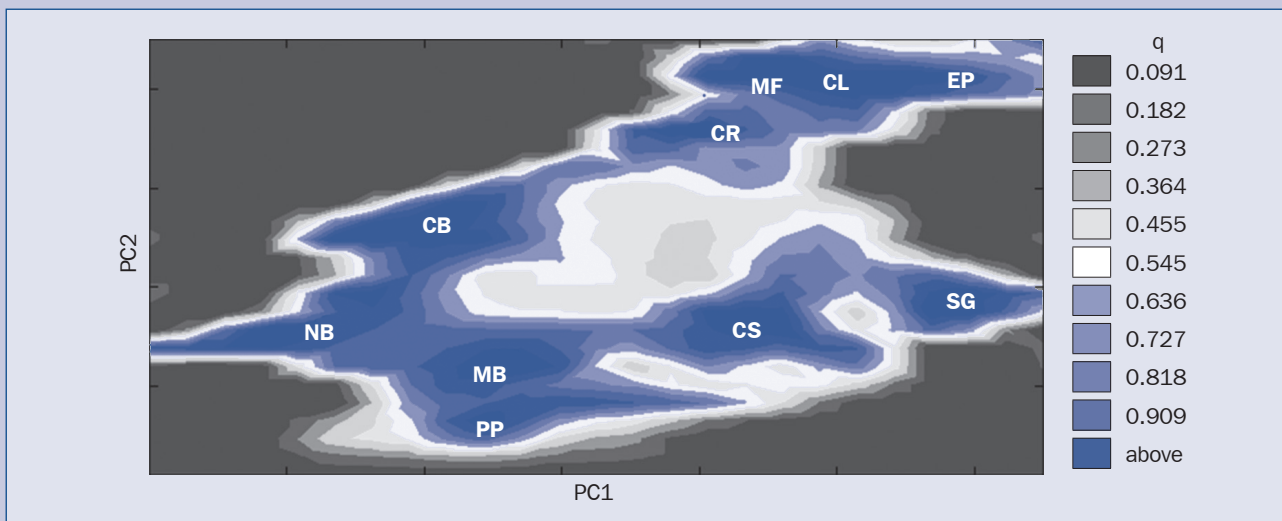


Figure 3. Basins of attraction and saddle points between scientific fields in the presence of general principles in the space spanned by the first two principal components. Barriers are lowered and direct communication, i.e. increased conceptual coherence, between scientific fields is enabled. A synthesis of knowledge becomes feasible (Hristovski, 2013). (With the kind permission of Research in Physical Education Sport and Health Journal)

Figura 3. Cuencas de atracción y puntos de equilibrio entre los campos científicos, en presencia de principios generales, en el espacio ocupado por los dos primeros componentes principales. Las barreras son más frágiles y se hace posible la comunicación directa, es decir, mayor coherencia conceptual entre los campos científicos. Es factible una síntesis del conocimiento (Hristovski, 2013). (Con el permiso de Research in Physical Education Sport and Health)

The challenging basic research development in these fields use the jargon of nonlinear dynamics and statistical physics and need specific knowledge and training to extract the relevant information.

The aim of the congress was to encourage sport scientists to devise new ways of research by engaging in collaborative projects with nonlinear scientists and statistical physicists (a branch of which deals with network collective dynamics) and try to find how the collective, supramolecular dynamics of genome, proteome, transcriptome, and metabolome cooperate in generating sports performance effects. The above mentioned unifying analytical and modeling tools already exist in biological sciences (Barabasi & Oltvai, 2004) and it would be a real pity if sport scientists do not try to take advantage of them.

In this way, when saying that biological systems are not part of a technical world we meant that they cannot be simply studied through linear integrative approaches or engineering-based control theory (computer-machine metaphor). The ontology and epistemology we are emphasizing is biologically based. Living systems are natural evolving systems subject to fundamental principles that have already become widespread in physics, chemistry and biology, including research into genomics. These fundamental principles are what we meant as the leap forward for sport science.

La desafiante investigación básica desarrollada en estos ámbitos utiliza la terminología de la dinámica no lineal y física estadística, lo que exige tener conocimientos específicos y práctica para extraer información relevante.

Uno de los objetivos del congreso fue alentar a los científicos del deporte a emprender nuevas vías de investigación, mediante la realización de trabajos colectivos con científicos “no lineales” y físicos estadísticos (una rama que se centra en la dinámica colectiva de redes), y a averiguar como coopera la dinámica colectiva supramolecular del genoma, el proteoma, el transcriptoma y el metaboloma en la generación de efectos sobre el rendimiento en los deportes. Tal como se ha dicho, las herramientas analíticas y de modelado unificadoras que acabamos de ver ya existen en las ciencias biológicas (Barabasi & Oltvai, 2004), así que sería una lástima que los científicos del deporte no intentarían sacarles provecho.

Así, cuando decimos que los sistemas biológicos no son parte del mundo técnico queremos decir que no es posible estudiarlos tan solo desde perspectivas integrantes lineales o de la teoría de control, basada en la ingeniería (metáfora ordenador-máquina). La ontología y la epistemología que tratamos de enfatizar son de base biológica. Los sistemas vivos son sistemas con una evolución natural sujetos a principios fundamentales que ya encontramos en la física, la química y la biología, incluyendo la investigación en genómica. Estos principios fundamentales constituyen el paso adelante que deben hacer las ciencias del deporte.

References / Referencias

- Agrawal, H. (2002). Extreme Self-Organization in Networks Constructed from Gene Expression Data. *Physical Review Letters*, 89, 268702. doi:10.1103/PhysRevLett.89.268702
- Aguiar, M., Botelho, G., Gonçalves, B., & Sampaio, J. (2013). Activity profiles of four different football small-sided games. In N. Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (p. 764). Barcelona: ECSS.
- Balagué, N., & Torrents, C. (2011). *Complejidad y deporte*. Barcelona: INDE.
- Balagué, N., Hristovski, R., & Torrents, C. (2013). From fragmentation to synthesis in sport science. In N. Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (p. 163). Barcelona: ECSS.
- Balagué, N., Hristovski, R., Vainoras, A., Vázquez, P., Aragonés, D. (2013). Psychobiological integration during exercise. In K. Davids, R. Hristovski, D. Araújo, N. Balagué, C. Button, & P. Passos (Eds.), *Complex Systems in Sport* (pp. 82-102). London: Routledge.
- Balagué, N., Torrents, C., Hristovski, R., Davids, K., & Araújo, D. (2012). Overview of complex systems in sport. *Journal of Systems Science and Complexity*, 26(1), 4-13. doi:10.1007/s11424-013-2285-0
- Barabasi, A. L., & Oltvai, Z. N. (2004). Network biology: Understanding the cell's functional organization. *Nature Reviews*, 5(2), 101-113. doi:10.1038/nrg1272
- Bouchard, C. (2013). Uncertainties regarding some of the expected benefits of regular exercise. In N. Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (p. 36). Barcelona: ECSS.
- Bourbousson, J. (2013). Team coordination in basketball: what can various levels of analysis reveal about interpersonal dynamics? In N. Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (pp. 283-284). Barcelona: ECSS.
- Chang, H. H., Hemberg, M., Barahona, M., Ingber, D. E., & Huang, S. (2008). Transcriptome-wide noise controls lineage choice in mammalian progenitor cells. *Nature*, (453), 544-547. doi:10.1038/nature06965
- Daskalovski, B., Naumovski, M., Hristovski, R. & Zivkovic, V. (2013). Ball passing flow patterns in basketball reveal different sets of constraints. In N. Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (p. 894). Barcelona: ECSS.
- Davids, K., & Araújo, D. (2010). The concept of 'Organismic Asymmetry' in sport science. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(6), 633-640. doi:10.1016/j.jsams.2010.05.002
- Davids, K., Button, C., & Bennet, S. (2008). *Dynamics of Skill Acquisition: A Constraints-Led Approach*. Champaign: Human Kinetics.
- Davids, K., Hristovski, R., Araújo, D., Balagué, N., Button, C., & Passos, P. (2013). *Complex Systems in Sport*. London: Routledge.
- Engelberg, J. (1995). Integrative study in physiology and medicine: Obstacles on the road to integration. *Integrative Physiological and Behavioural Science*, 30, 265-272.
- Fonseca, S., Lopes, A., Leser, R., Baca, A. & Hadjileontiadis, L. (2013). Classification Power of spatial metrics in invasion team sports. In N. Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (pp. 60-61). Barcelona: ECSS.
- Fox, M. D., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Corbetta, M., Van Essen, D. C., & Raichle, M. E. (2005). The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(27), 9673-9678. doi:10.1073/pnas.0504136102
- Frencken, W. (2013). Inter-team dynamics in soccer: evidence from small-sided games and full-sized matches. In N. Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (p. 283). Barcelona: ECSS.
- Friedman, M. (1974). Explanation and Scientific Understanding. *Journal of Philosophy*, 71(1), 5-19. doi:10.2307/2024924
- Giebisch G. H. et al. (1990). What's past is prologue. A "white paper" on the future of physiology and the role of the American Physiology Society. *The Physiologist*, 33(6), 161-180.
- Haken, H., Kelso, J. A. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements, *Biological Cybernetics* (51), 347-356. doi:10.1007/BF00336922
- Hasty, J., Pradines, J., Dolnik, M. & Collins, J. J. (2000). Noise-based switches and amplifiers for gene expression. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(5), 2075-2080. doi:10.1073/pnas.040411297
- Hopkins, W.G. (2013). Effects Went Away at the 2013 Annual Meeting of the European College of Sport Science. *Sport Science*, 17, 1-12.
- Hristovski, R. (2013). Synthetic thinking in (sports) science: the self-organization of the scientific language. *Research in Physical Education Sport and Health*, 2(1), 27-34.
- Izhikevich, E., Gally, J. A., & Edelman, G. (2004). Spike-timing dynamics of neuronal groups. *Cerebral Cortex*, 14(8), 933-944. doi:10.1093/cercor/bhh053
- Jonasson, K. (2013). Undermining' or 'overmining': is there a third way in the unification of sport science? In N. Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (p.163). Barcelona: ECSS.
- Karsenti, E. (2008). Self-organization in cell biology: a brief history. *Nature Reviews*, 9, 255-262. <http://dx.doi.org/10.1038/nrm2357>
- Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns—The Self-Organization of Brain and Behavior*. Cambridge: MIT Press.
- Kelso, J. A. S. (2009). Coordination dynamics. In R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of complexity and system sciences* (pp. 1537-1564). Berlin: Springer Verlag.
- Kelso, J. A. S. (2013). Whither sport science? The challenge of understanding living movement. In N. Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science ECSS* (p. 352). Barcelona: ECSS.
- Kelso, J. A. S., Southard, D., & Goodman, D. (1979). On the nature of human interlimb coordination. *Science*, 203, 1029-1031. doi:10.1126/science.424729
- Leser, R., & Baca, A. (2013). Using spatio-temporal metrics to characterize tactical behavior in a basketball game. In Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science ECSS* (p. 352). Barcelona: ECSS.
- Mauger, A. R., & Hopker, J. (2012). The Pain of Exercise – Insights into the Role of Pain on Exercise Regulation and Performance. *Journal of Sports Medicine. Doping Studies*, 2, e115. doi:10.4172/2161-0673.1000e115

- Mauger, A. R., Jones, A. M., & Williams, C. A. (2010). Influence of acetaminophen on performance during time trial cycling. *Journal of Applied Physiology*, *108*(1), 98-104. doi:10.1152/jappphysiol.00761.2009
- McGarry, T., Anderson, D. I., Wallace, A., Hughes, M. D., & Franks, I. (2002). Sport competition as a dynamical self-organizing system. *Journal of Sports Sciences*, *20*(10), 771-781. doi:10.1080/026404102320675620
- Nakagawa, K., Kawashima, S., Muraoka, T. & Kanosue, K. (2013). The constraint in the imagery of hand-foot coordinated movement. In Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (p. 792). Barcelona: ECSS.
- Nicolescu, B. (2002). *Manifesto of Transdisciplinarity*. New York: State University of New York Press.
- Passos, P. (2013). Paired behaviors in rugby union: the complementarity between stability and variability. In Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (p. 283). Barcelona: ECSS.
- Parfitt, G., Rose, E. A., & Burgess, W. M. (2006). The psychological and physiological responses of sedentary individuals to prescribed and preferred intensity exercise. *British Journal of Health Psychology*, *11*(1), 39-53. doi:10.1348/135910705X43606
- Ric, A., Torrents, C., Hristovski, R., & Aceski, A. (2013). Emerging creative behaviors under ecological constraints in contact improvisation dance. In Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (p. 624). Barcelona: ECSS.
- Seifert, L. (2013). Inter-limb coordination in swimming: effect of expertise. In Balagué, C. Torrents, A. Vilanova, J. Cadefau, R. Tarragó & E. Tsolakidis (Eds.), *Book of Abstracts of the 18th Annual Congress of the European College of Sport Science* (p. 284). Barcelona: ECSS.
- Thompson, R. H., & Swanson, L. W. (2010). Hypothesis-driven structural connectivity analysis supports network over hierarchical model of brain architecture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*, 15235-15239. doi:10.1073/pnas.1009112107
- Turvey, M.T. & Fonseca, S. (2008). Nature of motor control: perspectives and issues. In D. Sternad (Eds.), *Progress in Motor Control*. London: Springer
- Van Orden, G. C., & Paap, K. R. (1997). Functional neuroimages fail to discover pieces of mind in the parts of the brain. *Philosophy of Science*, *64*(4), 85-94. doi:10.1086/392589
- Walczak, A. M., Sasai, M., & Wolynes, P. G. (2005). Self-Consistent Proteomic Field Theory of Stochastic Gene Switches. *Biophysical Journal*, *88*(2), 828-850. doi:10.1529/biophysj.104.050666
- Weingart, P., & Stehr, N. (2000). *Practicing interdisciplinarity*. Toronto: University of Toronto.
- Woo, H. J., & Wallquist, A. (2011). Nonequilibrium Phase Transitions Associated with DNA Replication. *Physical Review Letters*, *106*(6), 060601. doi:10.1103/PhysRevLett.106.060601