

## Unifying Sport Science

**NATÀLIA BALAGUÉ SERRE**

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

**CARLOTA TORRENTS MARTÍN**

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya -  
Centre 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 les ciències de l'esport

**NATÀLIA BALAGUÉ SERRE**

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya -  
Centre de Barcelona (Espanya)

**CARLOTA TORRENTS MARTÍN**

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya -  
Centre de Lleida (Espanya)

### Resum

L'esport no és només un fenomen social del nostre món, sinó que també és un camp privilegiat per a l'estudi del comportament humà i social. Durant les últimes dècades, s'ha produït un enorme creixement i especialització de les ciències de l'esport i el lema del 18è Congrés de l'European College of Sport Sciences (ECSS) "Unificar les ciències de l'esport" representa desafiar aquest procés de fragmentació. El lema comporta un canvi de l'especialització a la integració, d'una concepció dels sistemes vius basada en la teoria de la informació i l'enginyeria a una de base biològica, de la investigació multidisciplinària a la transdisciplinària. Però sorgeix una pregunta: ¿és possible integrar les àrees fragmentades i facilitar la transferència de principis explicatius teòrics, tècniques i perspectives metodològiques entre disciplines? En el marc de les contribucions fetes en el congrés, aquest article té com a objectiu introduir enfocaments científics que ja estan estesos en els àmbits de la física, la química, la biologia (incloent-hi les òmiques) i les ciències socials, i que centrats en les interaccions dinàmiques complexes dels components sistèmics (proteïnes, cèl·lules, organismes, grups, societats), revelen principis explicatius generals que contribueixen a la unificació del coneixement. Pretenem encoratjar les persones interessades en les ciències de l'esport a concebre noves formes d'investigació i a complementar, sense substituir-los, els enfocaments dominants, amb l'esperança que anar de les parts al tot i del tot a les parts ajudarà els científics a reconèixer els camins més adients.

**Paraules clau:** integració, ciències de l'esport, enfocament transdisciplinari, sistemes dinàmics no lineals, coneixement unificat

## 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](http://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 18è Congrés de l'ECSS

El juny passat, l'Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC) va acollir la 18a edició del congrés que anualment organitza l'European College of Sport Science (ECSS). El director de l'INEFC, Agustí Boixeda, va definir aquest important esdeveniment internacional com a “la Champions de les ciències de l'esport”. Sempre resultarà molt agradable mirar enrere i recordar tots els anys de preparació, així com, molt especialment, aquells quatre intensos dies en què al nostre institut s'hi parlaven tantes varietats d'anglès i en què vam rebre tantes mostres de gratitud, i vam compartir l'entusiasme i la feina ben feta de nombrosos investigadors de les ciències de l'esport.

El congrés ha estat definit pels representants de l'ECSS com el congrés dels rècords: rècord de participants (3.112), de resums rebuts (2.452), d'expositors (68), de països participants (75), de candidats als Premis per a Joves Investigadors (538), de tallers i simposis satèl·lit (10) amb més de 500 participants, tots ells oberts i organitzats per diferents institucions just abans o després del congrés, al mateix INEFC. En resum, el congrés més important de la història de l'ECSS! Consulteu-ne les estadístiques i les qüestions logístiques en el resum oficial ([www.sport-science.org](http://www.sport-science.org)). Tanmateix, per a nosaltres, l'ECSS Barcelona 2013 va ser, sobretot, una experiència única de treball en equip.

Segons Will Hopkins, el periodista oficial de l'ECSS, tenint en compte tots els criteris habituals, inclòs el factor “sorpresa” de la investigació, el congrés va ser tot un èxit. Durant els quatre dies que va durar l'esdeveniment es van presentar treballs d'investigació de gran qualitat, tant a les sessions plenàries, com als simposis, les presentacions i minipresentacions orals i els pòsters electrònics no debatuts (per consultar les aportacions científiques, vegeu Hopkins, 2013). En el marc dels Premis per a Joves Investigadors, científics novells van presentar els resultats de la seva recerca i els 10 millors van ser guardonats en dues categories: minipresentació oral

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.

(pòster electrònic) i presentació oral. Així mateix, el Col·legi de Llicenciats en Educació Física i Ciències de l'Activitat Física i l'Esport de Catalunya (COPLEFC) va premiar el millor pòster català, i l'Institut Gatorade de Ciències de l'Esport (GSSI) també va premiar la millor investigació sobre nutrició esportiva.

Nombroses activitats socials van ajudar els delegats a millorar les seves xarxes, a més de gaudir de quatre dies meravellosos a la ciutat de Barcelona. A les cerimònies d'inauguració i de cloenda es va sorprendre el públic amb un seguit d'actuacions de ball, acrobàcies i circ espectaculars, produïdes pels professors de l'INEFC i dutes a terme pels seus estudiants i artistes professionals, així com exestudiants de l'INEFC (Barcelona i Lleida). Cal destacar l'actuació, durant la cerimònia d'inauguració, dels Castellers de Sants, que van emocionar el públic assistent amb els seus impressionants castells. El còctel per als finalistes del Premis per a Joves Investigadors, que va tenir lloc a la Universitat de Barcelona, i la festa de cloenda van ser dos grats esdeveniments que van saber copsar l'ànima de la ciutat. Els delegats també van poder gaudir de les activitats dutes a terme a Montjuïc, com ara pràctiques esportives gratuïtes a les Piscines Bernat Picornell o entrades per als museus de la zona. Els participants van valorar molt positivament l'hospitalitat dels seus amfitrions i la feina feta pels 72 voluntaris i voluntàries procedents de diferents països, però sobretot de l'INEFC, i la possibilitat de relacionar-se amb col·legues i representants de la indústria amb l'objectiu d'unificar les ciències de l'esport.

Estem molt agraïts a tots els voluntaris i voluntàries, i als nostres col·legues, que han contribuït a aquest èxit, i molt especialment als membres dels comitès científics i organitzadors. També desitgem mostrar el nostre agraïment pel suport i la feina de l'ECSS que va confiar en la nostra institució i ens va facilitar la infraestructura necessària per organitzar aquest esdeveniment, així com per l'ajuda rebuda de tots els patrocinadors institucionals del congrés.

## **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 tema central del congrés: Unificar les Ciències de l'Esport**

Les disciplines científiques són els ulls a través dels quals la societat moderna veu i es forma una imatge del món, emmarca les seves experiències i aprèn, tot construint el sistema educatiu i el seu propi futur, així com reconstruint el passat. Conformen l'ordre social del co-neixement (Weingart & Stehr, 2000).

El reduccionisme ha dominat la investigació de les disciplines científiques durant gairebé un segle i ha conformat la manera de pensar a occident. Per entendre qualsevol fenomen, el reduccionisme el descompon en parts cada vegada més petites amb l'ajuda dels avenços tecnològics: els organismes es disseccionen, les cèl·lules s'aïllen, els àtoms es fragmenten, etc. En les ciències de l'esport se segueix un procediment similar. Per exemple, el rendiment esportiu es divideix en múltiples components (físic, psicològic, biològic, tècnic, tàctic...); al seu torn, els components físics es divideixen en resistència, força..., que també es poden dividir en força màxima, força explosiva... Fins i tot els grups de músculs es treballen de manera aïllada en els entrenaments. L'especialització esdevé inevitable, ja que els mètodes i els conceptes que es troben a la base de cada fraccionament són molt difícils de dominar i contínuament neixen noves àrees d'estudi. En aquest context, en què les àrees de coneixement són cada vegada més nombroses, la promesa d'una ciència unificada ja no sembla creïble institucionalment (Engelberg, 1995).

Tot i que el reduccionisme ens ha proporcionat molta informació, molt poques vegades podem atribuir una determinada funció biològica a una sola molècula. La majoria de característiques biològiques sorgeixen d'interaccions complexes: entre proteïnes, cèl·lules, organismes, grups, societats. Així és com treballa el nostre cervell, el dispositiu de gestió de la informació més potent: filtrant, seleccionant, reunint i organitzant els enormes corrents d'informació que ens arriben sense parar. La integració i l'especialització són dues de les funcions principals del cervell humà, i treballen i es desenvolupen de manera (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*

Des de principis del segle XIX, quan la diferenciació i l'especialització de la ciència es van fer evidents, la unitat de la ciència es va convertir en una promesa de síntesi futura, ja fos a través de principis de síntesi o bé de reducció mitjançant la metodologia de l'empirisme lògic, que va ser l'esperança d'unitat del moviment científic (Weingart & Stehr, 2000).

Des de la seva creació, un dels objectius més importants de l'ECSS ha estat contribuir a la unificació de les ciències de l'esport. Tanmateix, durant gairebé dues dècades, el gran creixement d'aquest àmbit de coneixement només ha comportat un augment de l'especialització. El tema central d'aquesta 18a edició del congrés de l'ECSS "Unificar les Ciències de l'Esport" tenia l'objectiu de promoure la integració i millorar l'enteniment mutu entre els diferents camps per facilitar la transferència de principis explicatius teòrics, tècniques i perspectives entre disciplines.

Com a congrés pluridisciplinari, l'ECSS reuneix cada any els fruits de la recerca duta a terme per metges especialistes en esport, biòlegs, professors d'educació física, psicòlegs, biomecànics, sociòlegs, filòsofs, entrenadors i fisioterapeutes, entre d'altres, per presentar els seus descobriments en relació amb el fenomen esportiu. N'hi ha prou amb això per unificar les ciències de l'esport? Mentre que els enfocaments pluri i multidisciplinaris impliquen una combinació no integrant de disciplines, els enfocaments inter i transdisciplinaris exigeixen creuar els límits entre disciplines i són integrants. Concretament, els enfocaments transdisciplinaris no són només holístics, sinó que impliquen una unitat de coneixement que va més enllà de les disciplines (Nicolescu, 2002).

En aquest punt sorgeixen diverses preguntes: ¿És possible unificar les àrees de recerca fragmentades de les ciències de l'esport? Comparteixen principis? Com podem fer-ho? El congrés va intentar fer un pas endavant en aquesta direcció, però encara cal recórrer un llarg camí abans que la unificació de les ciències de l'esport sigui una realitat.

En les properes seccions ens centrarem en el concepte d'integració i, sobretot, en la transdisciplinarietat amb l'objectiu de complementar l'especialització,

*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*

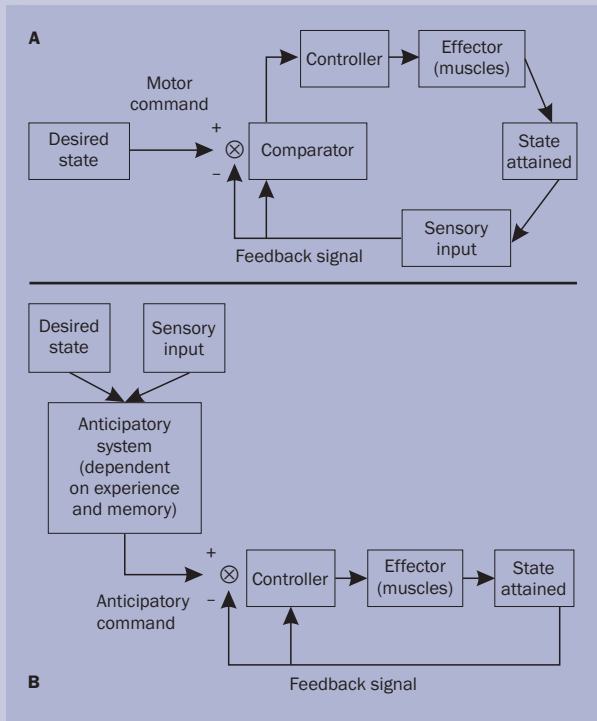
no de substituir-la. Esperem que anar del tot a les parts i de les parts al tot guiï els científics de l'esport a trobar els camins adients.

### **La integració en les ciències de l'esport**

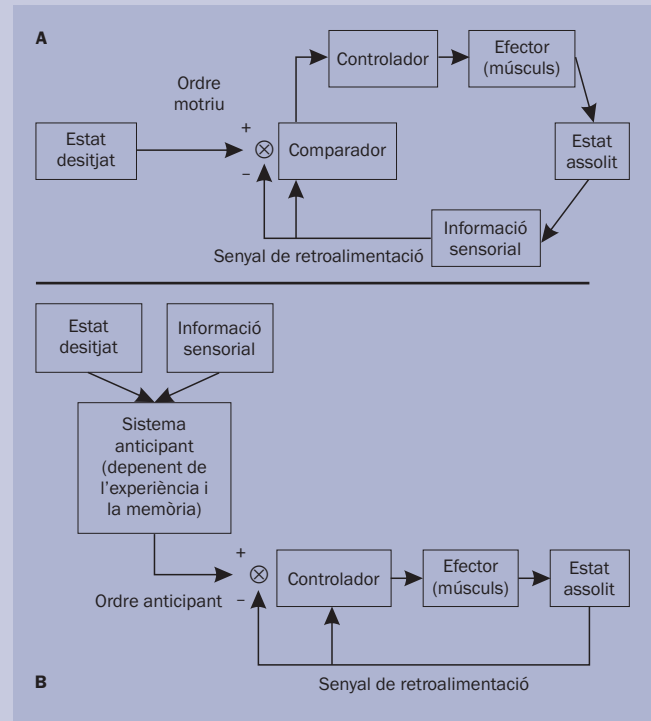
Els termes *integració* i *integrant* apareixen en molts contextos i tenen diferents significats en les ciències de l'esport. Poden tenir a veure amb la relació entre les diferents disciplines per tractar sobre un problema particular (per exemple, la fatiga es pot estudiar des d'un punt de vista fisiològic, biomecànic o psicològic); o amb el monitoratge simultani de diversos processos que actuen alhora o a diferents nivells (per exemple, del molecular a l'orgànic, com succeeix en la fisiologia de l'exercici), o bé, es poden utilitzar per descriure com determinats subsistemes d'un organisme estan connectats de manera reguladora (com ara els cicles de retroalimentació). No obstant això, el terme *integració* també es pot emprar en un sentit diferent i especial quan s'aplica a sistemes vius (cèl·lules, organismes pluricel·lulars o sistemes socials). En aquests sistemes, la integració és dinàmica i no lineal; per exemple, la interacció entre els seus subsistemes comporta l'aparició de nous components i noves propietats que no pertanyen a cap subsistema. El concepte d'unificació està relacionat amb aquesta visió concreta de la integració.

Seria un error considerar els enfocaments integrants com una altra àrea o paral·lels a altres àrees d'especialització ja que es troben en un nivell jeràrquic superior.

L'esport i les ciències de l'esport encara tracten el cos humà com una màquina o un aparell, per la qual cosa les seves funcions integrants s'estudien en el marc de la teoria de control tradicional. Al segle XIX, la neuroanatomia descrivia el moviment humà com si fos un sistema executiu; aquesta visió es va completar amb la mecànica de Newton i el model computacional de Turing, incloent-hi el *feedback* proporcionat pel sistema musculoesquelètic. Per descriure la regulació



**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, & Aragonés, 2013)



**Figura. 1.** Retroalimentació (A) i retroalimentació proactiva (B) per al control del moviment voluntari. Ambdós mecanismes generen un signe de correcció per modificar l'acció dels músculs d'acord amb la diferència entre l'estat desitjat i l'assolit efectivament (Balagué, Hristovski, Vainoras, Vázquez, & Aragonés, 2013)

feedback provided by the musculoskeletal system. Concepts 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 inter-linked components together (Kelso, 1995). Then the system rapidly becomes impossible to treat in

dels sistemes durant l'exercici se sol recórrer a conceptes com ara el d'homeòstasi, els circuits de retroalimentació i els programadors. Les prediccions de comportament d'aquest plantejament d'"enginyeria" són lineals, és a dir, que mantenen la proporcionalitat entre causes i efectes. Es representen mitjançant diagrames de caixes, utilitzats generalment per mostrar la interacció entre estructures i processos orgànics (vegeu la fig. 1). Aquests diagrames es basen en uns hipotètics mòduls que recullen processos i perfils de regulació invariables i estancs. Mentre ens centrem en models descriptius conceptuals, p.e. verbals, aquest enfocament basat en programadors i circuits de retroalimentació explícits ja ens va bé. Els problemes sorgeixen quan intentem modelar matemàticament més d'un parell de components interrelacionats junts (Kelso, 1995). Llavors, el sistema esdevé ràpidament impossible de tractar en termes dels esmentats

terms of explicit feedback circuits. Such integrative models have serious prediction problems because linearity and additivity 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

circuits de retroalimentació. Aquests models integrants presenten seriosos problemes de predicció, ja que la linealitat i l'addició són poc evidents o inexistents en els organismes socials i humans (Van Orden & Paap, 1997).

### De la integració lineal a la no lineal

Tal com mantenia Friedman (1974), comprendre els fenòmens no consisteix únicament en reduir les seves “incomprensions fonamentals”, sinó en trobar connexions, patrons comuns, en allò que inicialment semblaven situacions diferents. De fet, la majoria de característiques biològiques sorgeixen d'interaccions complexes i un dels reptes clau del nostre segle és entendre l'estructura i la dinàmica d'aquestes interaccions, ja que això comportarà, sens dubte, una millor comprensió entre les diferents disciplines científiques.

Els sistemes que estudien les ciències de l'esport (atletes, equips, jocs, clubs, etc.) consisteixen en components heterogenis funcionalment i estructuralment que interactuen sovint de manera informacional i/o mecànica amb intensitats variables i cobrint diferents escales d'espai-temps. Els components no es poden estudiar de manera aïllada com a causes microscòpiques, doncs a través de les interaccions construeixen totalitats emergents que tenen propietats emergents. A més, quan estan aïllats es comporten de manera diferent respecte de quan interactuen dins de la xarxa de processos completa. Per exemple, la biologia integrant, que s'ocupa de la síntesi i la integració (Giebisch et al., 1990), explica com les diverses parts dels organismes cel·lulars i multicel·lulars es combinen per formar sistemes vius. Aquestes parts interactuen a nivells diferents de manera unificada i coordinada per aconseguir objectius comuns, així que les seves funcions estan del tot correlacionades. L'estudi de l'organització jeràrquica que estructura i processa els fluxos d'informació a través del sistema és fonamental per al desenvolupament del pensament integrant. Tanmateix, encara no s'ha investigat la naturalesa d'aquesta jerarquia i se'n té una concepció molt primitiva que sovint genera confusió



leading often to confusion (e.g., studying molecules in exercise physiology investigation).

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).*

(per exemple, en l'àmbit de la fisiologia de l'exercici s'estudien molècules).

Els últims avenços en tecnologia, modelatge matemàtic i possibilitats computacionals han impulsat el creixement d'un nou cos de disciplines científiques capaç de fer front a les complexitats de l'esport, i en la 18a edició del Congrés de l'ECSS es va intentar donar-ho a conèixer per oferir suport al creixement d'algunes àrees relacionades, com la del paradigma de la medicina de l'exercici personalitzada. Kelso (2013), en la seva intervenció, va parlar d'aquesta contribució i va fer els comentaris següents:

*Pensem en el fenomen 'testing Ronaldo'. L'objectiu és, principalment, el mesurament i les diferents maneres de detectar els aspectes que fan de Ronaldo un gran futbolista. Malgrat que és un tema interessant, ens manca un marc conceptual amb el qual interpretar i integrar les dades dels diferents nivells i escales d'observació que acostumen a formar part de la configuració típica dels esports. En cada nivell de complexitat, del cel·lular al social, ¿qui són els jugadors, quines són les seves propietats i quines són les regles del joc? Com ho podem saber?*

Per respondre aquestes preguntes, la integració s'ha d'interpretar com una sinergia complexa i no lineal entre l'atleta/equip i un entorn que es troba en contínua transformació (Davids & Araújo, 2010). Aquesta sinergia s'autoorganitza i segueix els principis de qualsevol sistema complex.

Durant les últimes dècades del segle XX, la relació mútua entre el sistema nerviós, el cos i l'entorn, i la perspectiva ecològica sobre el control van identificar-se com a qüestions clau per a la teoria del control motor (Turvey & Fonseca, 2008). Gràcies a aquests avenços, fa més de 30 anys, van començar a aparèixer els primers treballs sobre la coordinació del moviment en els humans i els animals, que utilitzaven conceptes similars als d'altres àrees de la ciència, com la matèria i la física de sistemes fora d'equilibri (Haken, Kelso, & Bunz, 1985; Kelso, Southard, & Goodman, 1979). Aquests conceptes es van aplicar tant a l'estudi de la coordinació humana en l'esport com a la millora de les estratègies d'entrenament i d'aprenentatge motriu (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).*

Durant el congrés, aquest plantejament el vam trobar, sobretot, en les investigacions sobre els esports d'equip. En comptes de centrar-se en la caracterització del processament de la informació i en les habilitats perceptives dels esportistes, es va posar l'èmfasi en l'estudi de la coordinació interpersonal entre jugadors i equips i la seva evolució temporal, que són el marc en què es desenvolupen les accions i les decisions. Diversos investigadors van presentar resultats sobre els processos d'interacció de jugadors d'un mateix equip i d'equips oponents, que donen lloc a l'anomenada dinàmica del joc (Bourbousson, 2013; Fonseca, Lopes, Leser, Baca, & Hadjileontiadis., 2013; Frencken, 2013; Leser & Baca, 2013; Lopes et al., 2013; Passos, 2013). També es van presentar comunicacions que analitzaven els efectes de les limitacions en el rendiment dins d'aquest marc 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 l'àrea de medicina esportiva, i durant la sessió plenària “Amb dolor s'obtenen resultats?”, Claude Bouchard (2013) va posar en dubte la creença generalitzada que un mateix estímul d'entrenament produeix efectes similars en diferents persones. Tot i que va afirmar, a partir de nombrosos estudis epidemiològics longitudinals i transversals, i sobre l'exercici, que, des d'una perspectiva de salut pública, l'exercici regular és beneficiós per a tothom, va voler destacar les diferències individuals i les diferents respostes a l'exercici regular. Mitjançant tecnologies pròpies de la genòmica i la transcriptòmica, Bouchard va analitzar els efectes de l'exercici regular en una població de 1.700 adults. Els resultats d'aquest estudi van revelar que les respostes negatives assolien el 10% per a un determinat factor de risc, mentre que un 7% experimentava múltiples respostes negatives. L'autor va concloure que és hora de deixar enrere el model “sense dolor no hi ha resultat” i d'adoptar el paradigma mèdic de l'exercici personalitzat. El dolor fa que les persones deixin de seguir les seves rutines d'exercici i, a més, també afecta el seu rendiment, entre altres inconvenients (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).*

## **Cap a un enfocament transdisciplinari. Unificació del coneixement en les ciències de l'esport**

Les ciències de la complexitat no només han introduït noves hipòtesis per entendre com es produeix la integració en els sistemes vius, sinó també nous conceptes i noves eines per estudiar-la. En concret, l'enfocament de la dinàmica de coordinació descriu, explica i prediu com es formen, persisteixen i canvien els patrons de coordinació en els sistemes vius (Kelso, 1995, 2009), i sembla capaç de fer front al reduccionisme dominant i diluir els límits existents entre les diferents disciplines de les ciències de l'esport. L'objectiu d'aquest àmbit d'estudi consisteix a entendre els principis i les lleis que regulen la formació dels patrons de comportament sota la influència de condicions canviants. Es pot aplicar a escales diferents (des de la proteòmica fins a les xarxes socials) i a diversos tipus de fenòmens, generalment estudiats per disciplines independents (des de la bioquímica fins a les ciències socials). Durant el congrés, a partir d'aquests principis i lleis generals, es va presentar un enfocament transdisciplinari de les ciències de l'esport (Balagué, Hristovski, & Torrents, 2013). Els autors van mostrar, mitjançant el model de coneixement sintètic de Hristovski (2013), que la recerca científica es pot concebre com un resultat dels processos cooperatius entre disciplines, i que de la mà de la teoria dels sistemes dinàmics no lineals (TSDNL) i de la física estadística està emergint una visió sintètica del món.

Mentre que les diferents branques científiques mantenen el seu llenguatge específic (dependent del context), amb la presència de principis explicatius generals derivats de la TSDNL es redueixen les barreres lingüístiques entre disciplines, sorgeix un llenguatge comú i es promou un coneixement de tipus sintètic. En les ciències de l'esport, el plantejament de la dinàmica de coordinació, nodrit amb els conceptes i principis de la TSDNL, ha estat aplicat en l'àmbit de la biomecànica i l'aprenentatge motriu, dels esports col·lectius i, més recentment, de la psicobiologia de l'exercici (Balagué, Torrents, Hristovski, Davids, & Araújo, 2012), amb la qual cosa s'ha contribuït al desenvolupament de la visió sintètica abans esmentada. Les

*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).

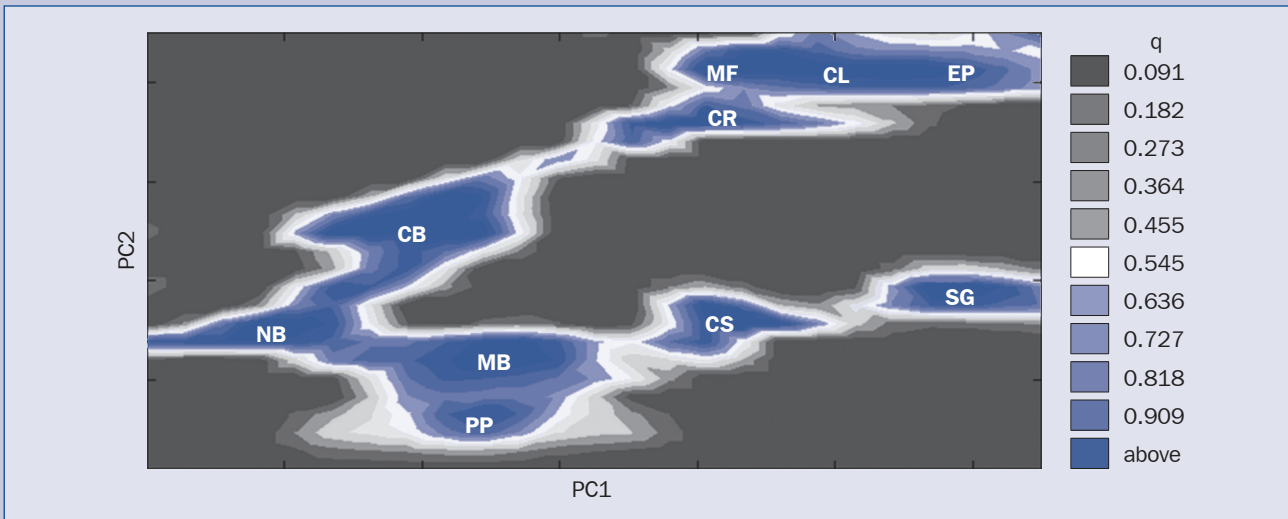
aplicacions encara són poc nombroses a causa de la limitada filtració de coneixements provinents de la física i les matemàtiques en aquest camp. Tanmateix, les possibilitats són enormes, ja que l'exercici i els fenòmens esportius es caracteritzen per les perturbacions, la variabilitat i els canvis dinàmics que no es poden modelar de manera adequada a partir d'enfocaments lineals.

A la figura 2 s'hi mostren les barreres lingüístiques que la física estadística hauria de superar per estudiar l'aprenentatge motriu o els esports col·lectius, mentre que a la figura 3 hi veiem com aquestes barreres es dilueixen si utilitzem la TSDNL (Hristovski, 2013).

Durant la sessió inaugural, i en relació amb la voluntat d'unificació, els organitzadors del congrés van explicar que les ciències de l'esport es troben davant d'un gran repte: entendre els organismes vius no com a part del món tècnic sinó com a parts actives d'un tot indivisible, la natura. Una filòsofa sueca, Jonasson (2013), va qüestionar aquesta idea en la seva presentació, en afirmar que seria més fàcil assolir la unificació a través del món de la tècnica que considera una base comuna per a totes les disciplines de les ciències de l'esport.

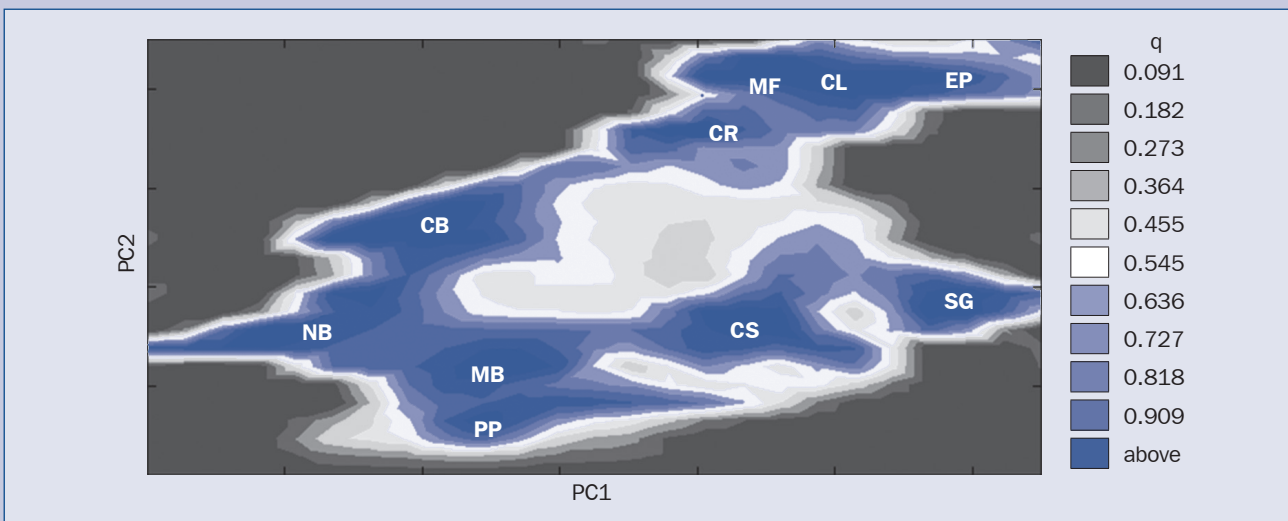
Encara que no hi ha cap mena de dubte que els avenços científics requereixen de les noves tecnologies, des de la perspectiva de la història i la filosofia de la ciència s'entén, de manera general, que la unificació consisteix en trobar principis explicatius aglutinants capaços d'explicar fenòmens aparentment independents (Friedman, 1974). En aquest sentit, les tècniques i les tecnologies no es poden considerar com principis explicatius generals. De fet, són precisament els avenços tecnològics de les darreres dècades (especialment la microscòpia *in vivo*) els que han fet possible el floriment d'una recerca experimental en genòmica i biologia cel·lular que, basada en principis explicatius unificadors, s'aplica a una escala cada vegada més gran de la matèria organitzada (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.** Conques d'atracció i punts d'equilibri entre els camps científics, en absència de principis generals, en l'espai abastat pels dos primers components principals. La comunicació entre camps es veu limitada a un canal estret entre disciplines conceptualment similars, la qual cosa defineix un estat de baixa coherència lingüística (EP: física de partícules elementals; CL: cosmologia; MP: física molecular; CR: reaccions químiques; CB: biologia cel·lular; NB: neurobiologia; MB: comportament motriu; PP: processos psicològics; CS: esports col·lectius; SG: sociologia de grups) (Hristovski, 2013). (Amb el permís 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.** Conques d'atracció i punts d'equilibri entre els camps científics, en presència de principis generals, en l'espai abastat pels dos primers components principals. Les barreres són més febles i es fa possible la comunicació directa, és a dir, una major coherència conceptual entre els camps científics. Una síntesi del coneixement esdevé factible (Hristovski, 2013). (Amb el permís 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 desafiant investigació bàsica desenvolupada en aquests àmbits fa servir terminologia de dinàmica no lineal i física estadística, la qual cosa exigeix tenir coneixements específics i pràctica per extraure'n informació rellevant.

Un dels objectius del congrés va ser encoratjar els científics de l'esport a concebre noves vies de recerca, mitjançant la realització de treballs col·lectius amb científics "no lineals" i físics estadístics (una branca que se centra en la dinàmica col·lectiva de xarxes), i a esbrinar com coopera la dinàmica col·lectiva supramolecular del genoma, el proteoma, el transcriptoma i el metaboloma en la generació d'efectes sobre el rendiment en els esports. Com s'ha dit, les eines analítiques i de modelatge unificadores ja existeixen en les ciències biològiques (Barabasi & Oltvai, 2004), així que seria tota una llàstima que els científics de l'esport no intentessin treure'n profit.

Així, quan diem que els sistemes biològics no són part del món tècnic volem dir que no és possible estudiar-los tan sols des de perspectives integrants lineals o sota els auspicis de la teoria de control, basada en l'enginyeria (metàfora ordinador-màquina). L'ontologia i l'epistemologia que tractem d'emfatitzar són de base biològica. Els sistemes vius són sistemes amb una evolució natural subjectes a principis fonamentals que ja trobem en la física, la química i la biologia, incloent-hi la recerca en genòmica. Aquests principis fonamentals constitueixen el pas endavant que han de fer les ciències de l'esport.

## References / Referències

- Agrawal, H. (2002). Extreme Self-Organization in Networks Constructed from Gene Expression Data. *Physical Review Letters*, 89, 268702. doi:10.1103/PhysRevLett.89.268702
- Aguilar, 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., 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., & Torrents, C. (2011). *Complejidad y deporte*. Barcelona: INDE.
- 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